

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
“ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ”**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ**

**по курсу «СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
ВЕЛИЧИН»**

для студентов специальности 7.09.1302
«Метрология и измерительная техника»
дневного и заочного обучения

Харьков 2007

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ**

**по курсу «СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
ВЕЛИЧИН»**

для студентов специальности 7.09.1302
«Метрология и измерительная техника»
дневного и заочного обучения

Утверждено
редакционно-издательским
советом университета,
протокол № 1
от 21.03.2002г.

Харьков • НТУ «ХПИ» • 2002

Методичні вказівки до лабораторних робіт «Засоби вимірювання неелектричних величин» з курсу «Засоби вимірювання неелектричних величин» для студентів спеціальності 7.091302 денного та заочного навчання / Уклад. С.І. Кондрашов, В.К. Гусельников та ін. - Харків: НТУ «ХПІ». 2002 - с. Рос. мовою.

Укладачі: С.І. Кондрашов,
В.К.Гусельников,
Л.О. Медведэва,
І.В. Григоренко

Кафедра вимірювально-інформаційної техніки

© С.І. Кондрашов,
В.К.Гусельников,
Л.О. Медведэва,
І.В. Григоренко, 2002 г.

© НТУ «ХПІ», 2002 г.

Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОГО ПИРОМЕТРА С ИСЧЕЗАЮЩЕЙ НИТЬЮ

Целью работы является ознакомление с принципом действия и устройством оптических пирометров с исчезающей нитью, изучение установки для поверки пирометров, приобретение навыков поверки эксплуатации оптических пирометров.

Оптические пирометры с исчезающей нитью применяются для измерения яркостных температур (температур, соответствующих излучению абсолютно чёрного тела) различных объектов в области спектра. Интервал измеряемых температур для таких пирометров составляет от 700 до 8000°C. Принцип действия заключается в сравнении яркости (интенсивности излучения) нагретого тела в лучах определенной длины волн с яркостью нити пирометрической лампы накаливания, предварительно профадуированной по излучения абсолютно черного тела. При этом если нагретое тело и нить лампы имеют одинаковую яркость свечения и, следовательно, одинаковую яркостную температуру, то нить как бы исчезает на фоне тела, поэтому такие пирометры и называются пирометрами с исчезающей нитью.

К числу наиболее распространённых оптических пирометров с исчезающей нитью относится исследуемый в настоящей работе переносной пирометр типа ОППИР-09. Он имеет следующие технические характеристики:

Диапазон измеряемых температур, °C 800-2000

Основная допустимая погрешность, °

для поддиапазона 800 - 1400 °C ±20

для поддиапазона 1400 - 2000 °C ±30

Вариация, °C

для поддиапазона 800 – 1400 °C ±15

для поддиапазона 1400 – 2000 °C ±20

Схема устройства пирометра ОППИР-09 приведена на рисунке 1, его принципиальная электрическая схема приведена на рисунок 2.

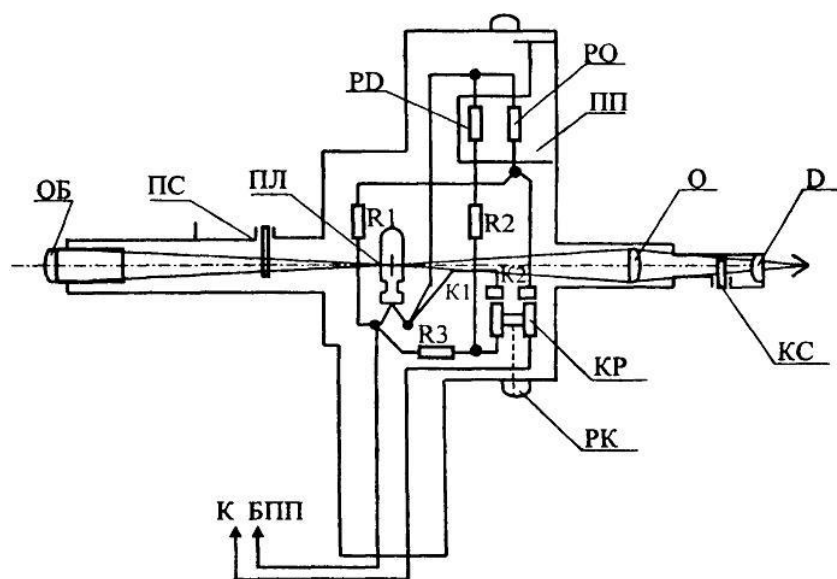


Рисунок 1 - Схема и устройство ОППИР-09

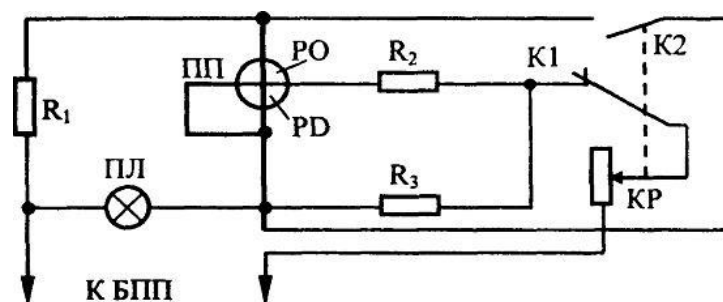


Рисунок 2 - Принципиальная электрическая схема ОППИР-09

Прибор состоит из первичного преобразователя – телескопа (объектив ОБ, окуляр ОК, красный светофильтр КС, диафрагма Д, поглощающее стекло ПС) и электроизмерительной системы (пирометрическая лампа ПЛ, кольцевой реостат КР, показывающий прибор ПП, резисторы, источник питания ИП).

Для обеспечения четкости изображения объекта, температура которого измеряется, объектив ОБ и окуляр ОК имеет свободу передвижения вдоль оптической оси. Диафрагма Д служит для ограничения и обеспечения постоянства выходного угла. **Красный светофильтр КС предназначен для монохроматизации пучка лучей.** При его введении между окуляром и диафрагмой человеческий глаз воспринимает только узкую часть спектра с длиной волны λ . КС можно выводить из поля зрения для облегчения наводки и фокусировки телескопа, но в момент уравнивания яркостей нагретого тела и нити пирометрической лампы он обязательно должен быть введен. **Поглощающее стекло ПС используется для расширения рабочего диапазона пирометра в сторону высоких температур.** При выведении ПС из поля зрения рабочий диапазон пирометра составляет 800-1400 °С, при его введении в поле зрения - 1400-2000 °С. В качестве показывающего прибора ПП используется дифференциальный амперметр магнито-электрической системы с двумя рамками. Рамка РО является основной и через добавочный резистор R1 включается параллельно нити пирометрической лампы ПЛ. Рамка РД является дополнительной и через добавочный R2 и шунтирующий R3 резисторы включается последовательно с нитью ПЛ. Вращающие моменты, создаваемые основной и дополнительной рамками, направлены в противоположные стороны. Такая схема ПП позволяет уменьшить нерабочий участок его шкалы до минимального значения. **Сила тока**, протекающего через нить ПЛ, а следовательно, и яркость этой нити регулируется с помощью кольцевого реостата КР. Ползунок П реостата соединен с регулировочным кольцом РК, при повороте которого по часовой стрелке сопротивление КР уменьшается, а яркость нити ПЛ увеличивается. В крайнем левом положении кольца контакты К1 отключают источник питания, а контакты К2 замыкают накоротко основную рамку ИП, что способствует успокоению подвижной части ИП и уменьшению ее колебаний при переноске пирометра.

Для поверки оптических пирометров предназначена установка УПО-6 М2, которая имеет следующие технологические характеристики:

Пределы непосредственной поверки пирометров, °С	800-2200
Питание температурной лампы, А	6-35
Погрешность измерения тока, А	
при токе 6 А	±0,001
при токе 35 А	±0,006
Предельная допустимая погрешность поверки пирометров, °С	
при 800 °С	±5
при 2000 °С	±9

Внешний вид и электрическая схема установки УПО-6 М2 приведены соответственно на рисунке 3 и рисунке 4. Установка состоит из рабочего стола РС с держателем пирометра ДП, светофильтра С, объектива О, температурной лампы ТЛ, матовой лампы подсветки МЛП, образцового сопротивления ОС ($R = 0,001 \text{ Ом}$), блока питания пирометра БПП, стабилизатора напряжения СН, цифрового вольтметра.

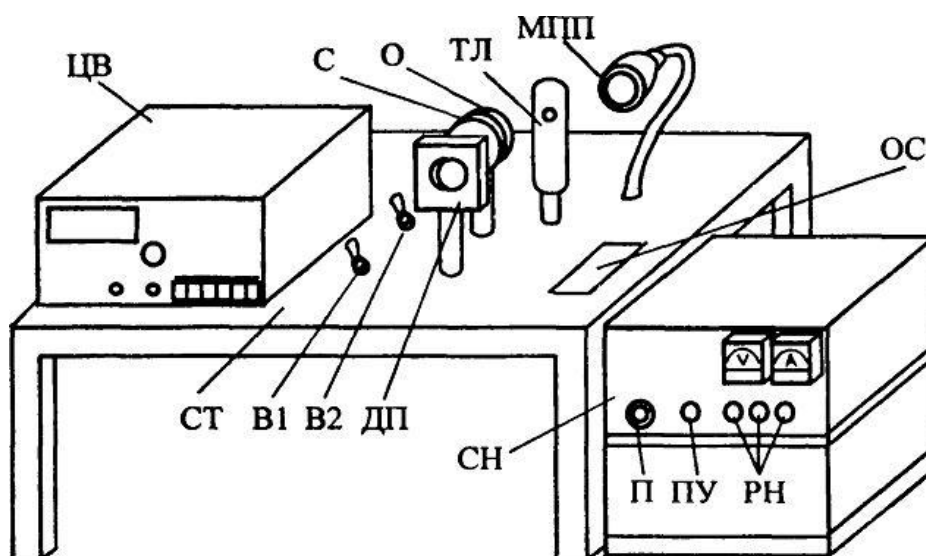


Рисунок 3 - Внешний вид установки УПО-6

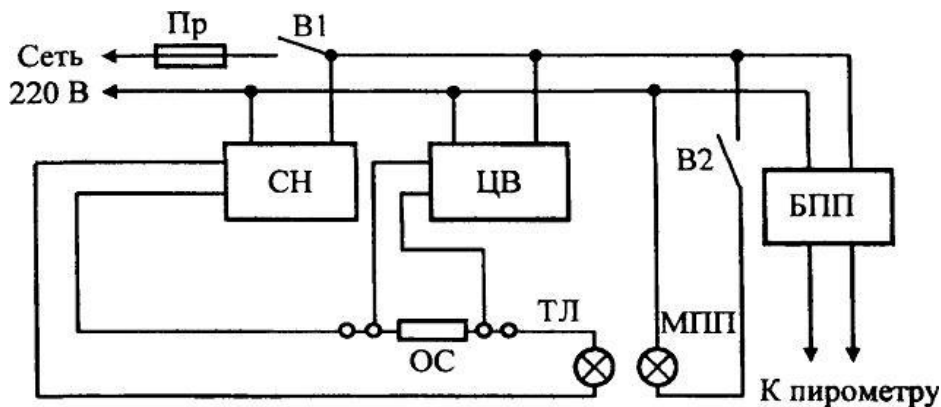


Рисунок 4 - Электрическая схема установки УПО-6

Опыт 1. Поверка пирометра

Внимание! Во время работы в установке протекают токи до 40 А, поэтому перед началом работы необходимо проверить качество заземления всех приборов.

Для поверки пирометра на установке УПО-6 М2 необходимо выполнить следующие операции:

1. Установить выключатели В1 и В2, сетевые выключатели стабилизатора СН в положение ОТКЛ.

2. Установить ручки регулировки напряжения РН стабилизатора СН в крайнее левое положение, а тумблер пульта управления ПУ в нижнее положение.

3. Установить поверяемый пирометр в держателе ДП так, чтобы изображение нити пирометрической лампы было расположено симметрично изображению ленты температурной лампы ТЛ в месте, указанном индексом ТЛ. Объектив пирометра придвинуть к светофильтру С с зазором 15 ± 5 мм, регулировочное кольцо РК установить в крайнее левое положение. Красный светофильтр КС и поглощающее стекло ПС вывести из поля зрения.

4. Подключить установку УПО-6 М2 к сети 220В, 50 Гц и перевести выключатели стабилизатора СН и цифрового вольтметра в положение «ВКЛ». Нажать кнопку «ПУСК» на стабилизаторе СН.

5. Прогреть прибор в течение 20 мин.

6. На цифровом вольтметре установить значение напряжения эквивалентного тока, приведенным на рабочем месте. Значение I_i и T_i занести в таблицу 1.

Таблица 1

T_i °C	I_i A	T_i' °C	T_i'' °C	T_i' °C	T_i'' °C	T_i' °C	T_i'' °C	T_i' °C	T_i'' °C	T_i' °C	T_i'' °C	ΔT_i °C	\bar{T}_i °C	γ %

7. Изменяя положение окуляра ОК и объектива ОБ пирометра, добиться четкого изображения ленты температурной лампы, ввести в поле зрения красный светофильтр КС и, вращая регулировочное кольцо РК, уравнивать яркость нити накала пирометрической лампы и ленты температурной лампы (нить должна исчезнуть на фоне ленты). Если яркость изображения ленты недостаточна для проведения измерений при температуре 800 °C, светофильтр КС необходимо вывести из поля зрения.

8. По показывающему прибору ПП пирометра отсчитать значение яркостной температуры T_i' при подходе к равенству со стороны меньшей яркости и значение яркостной температуры T_i'' при подходе к равенству со стороны большей яркости. Повторить эти операции 5 раз и занести полученные результаты в таблицу 1.

9. Определить и занести в таблицу 1 значение вариации ΔT_i показаний пирометра как наибольшую разность из пяти отсчетов по формуле:

$$\Delta T_i = T_{i\max}' - T_{i\min}''.$$

10. Вычислить и занести в таблицу 1 среднее арифметическое значение температуры:

$$\bar{T}_i = 0,1 \left(\sum_1^5 T_i' + \sum_1^5 T_i'' \right).$$

11. Определить погрешность γ_i пирометра при измерении температуры T_i по формуле:

$$\gamma_i = \left[\left(\bar{T}_i - T_i \right) / T_i \right] \cdot 100\%,$$

где T_i – температура ленты ТЛ.

12. Повторить операции, изложенные в пп. 6 – 11 для температур,

соответствующих всем оцифрованным отметкам верхней шкалы пирометра.

13. Произвести поверку пирометра по нижней шкале, для чего ввести в поле зрения поглощающее стекло ПС и проделать операции, изложенные в пп. 5 – 12. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 1.

Опыт 2. Измерение температуры нагретого тела

Оптический пирометр ОППИР-09 измеряет яркостную температуру T нагретого тела, соответствующую излучению абсолютного твёрдого тела. Действительная температура Θ нагретого тела отличается от яркостной и может быть определена по показаниям пирометра следующим образом:

$$\Theta = \frac{9568\bar{T}}{9568 - \bar{T} \lg\left(\frac{1}{\varepsilon_\lambda}\right)}, \quad (1)$$

где ε_λ - коэффициент монохроматического излучения при определённой длине волны.

Коэффициент ε_λ зависит от материала и состояния поверхности физического тела. Значения коэффициентов ε_λ для некоторых материалов при $\lambda = 0,65$ мкм (красный свет) приведены в таблице 2.

Таблица 2

Материал	ε_λ
Сталь углеродистая твёрдая	0,440
Сталь жидкая	0,370
Серебро твёрдое	0,070
Вольфрам	0,437
Уголь и графит	0,900

В этой части работы нужно с помощью пирометра ОППИР-09 определить действительную температуру вольфрамовой нити температурной ленты ТЛ при протекании по ней электрического тока. Для решения этой задачи необходимо:

1. Занести в таблицу 3 данные преподавателем значения токов.

Таблица 3

I_i, A	$T_i', ^\circ C$	$T_i'', ^\circ C$	$\bar{T}_i, ^\circ C$	$\Theta, ^\circ C$	$\Delta, ^\circ C$

2. Выполняя операции, изложенные в пп. 5 – 7 предыдущего опыта установить значение тока I_I (таблица 3) с погрешностью не более $5 \cdot 10^{-3} A$ и уравнивать яркость нити пирометрической лампы и ленты температурной лампы.

3. По показывающему прибору пирометра определить и занести в таблицу 3 значения яркостных температур T_I' и T_I'' при подходе к равновесию со стороны соответственно меньшей и большей яркости.

4. Вычислить и занести в таблицу 3 среднее значение температуры:

$$\bar{T}_I = 0,5(T_I' + T_I'')$$

5. По формуле (1) определить и занести в таблицу 3 действительное значение температуры Θ_I ленты температурной лампы при протекании по ней тока I_I .

6. Определить разность между яркостной \bar{T}_I и действительной Θ_I температурами ленты $\Delta_I = |\bar{T}_I - \Theta_I|$ при токе I_I .

7. Определить и занести в таблицу 3 значения действительных температур для остальных значений токов, выполняя операции, изложенные в пп. 1– 6.

Содержание отчета

Схемы пирометра ОППИР-09 (рисунок 1, 2); электрическая схема установки УПО-6 М2 (рисунок 4); таблицы экспериментальных данных (таблица 1,3).

Контрольные вопросы

1. Назначение и принцип действия оптических пирометров с исчезающей нитью.
2. Конструкция и электрическая схема пирометра ОППИР-09.
3. Устройство телескопа пирометра ОППИР-09.

4. Назначение красного светофильтра КС и поглощающего стекла ПС пирометра.
5. Электрическая схема установки УПО-6 М2.
6. Назначение образцового сопротивления ОС.
7. Порядок поверки пирометров на установке УПО-6 М2. Причины возникновения погрешности пирометра и вариации его показаний. Яркостная температура тела. Формула, связывающая яркостную и действительную температуры.

Литература

1. Преображенский В.П. Теплотехнические измерения и приборы. – Электрические измерения М.: Энергия, 1978. – С. 269 – 279.
2. Новицкий П.В. Электрические измерения неэлектрических величин. – Л.: Энергия, 1975. – С.451 – 452.
3. Фремке А.В., Душин Е.М. Электрические измерения. – Л.: Энергия, 1980. – С. 341 – 345.

Лабораторная работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНДУКТИВНОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ МАЛЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В ТОК

Целью работы является градуировка индуктивного дифференциального преобразователя и исследование его характеристик при работе в различных режимах.

Принцип действия индуктивных преобразователей основан на зависимости индуктивности или взаимной индуктивности обмоток на магнитопроводе от положения, геометрических размеров и магнитного состояния элементов их магнитной цепи.

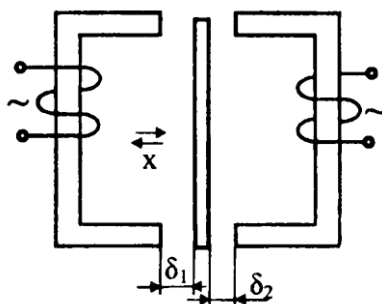


Рисунок 1 – Магнитопровод с зазором и двумя обмотками

Индуктивность обмотки, расположенной на магнитопроводе:

$$L_i = \frac{w_i^2}{Z_m}, \quad (1)$$

где Z_m – магнитное сопротивление магнитопровода;
 w_i – число витков обмотки.

Взаимная индуктивность двух обмоток, расположенных на том же магнитопроводе:

$$M = \frac{w_1 \cdot w_2}{Z_m}, \quad (2)$$

где w_1, w_2 – число витков первой и второй обмоток.

Приведенные соотношения показывают, что индуктивность и

взаимоиндуктивность можно изменять, воздействуя на длину δ , сечение воздушного участка магнитопровода, на потери мощности в магнитопроводе и другими путями. Этого можно достичь, перемещением подвижного сердечника (якоря) 1 относительно неподвижного 2, введением немагнитной металлической пластины 3 в воздушный зазор и т.п. Индуктивный преобразователь с переменной длиной воздушного зазора δ характеризуется нелинейной зависимостью $L = f(\delta)$. Такой преобразователь обычно применяют при перемещениях якоря на 0,01–5 мм. Значительно меньшей чувствительностью, но линейной зависимостью $L = f(S)$ отличаются преобразователи с переменным сечением воздушного зазора. Эти преобразователи используют при перемещениях до 10 – 15 мм.

Широко распространены индуктивные дифференциальные преобразователи, в которых под воздействием измеряемой величины одновременно и притом с разными знаками изменяются два зазора электромагнитов.

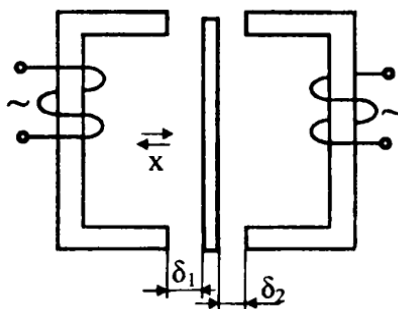


Рисунок 2 – Индуктивный дифференциальный преобразователь

Дифференциальный преобразователь в сочетании с соответствующей измерительной цепью (обычно мостовой) имеют более высокую чувствительность, меньшую нелинейность характеристики преобразователя, испытывают меньшее влияние внешних факторов и сниженное результирующее усилие на яркость со стороны электромагнита, чем недифференциальные преобразователи.

Индуктивные преобразователи используют для преобразования перемещения и других неэлектрических величин, которые могут быть преобразованы в перемещение (усилие, давление, момент). По сравнению с другими преобразователями перемещения индуктивные преобразователи отличаются значительными по мощности входными сигналами, простотой и надёжностью в работе.

Недостаток их – обратное воздействие преобразователя на исследуемый объект (воздействие электромагнита на якорь) и влияние на частотные характеристики прибора.

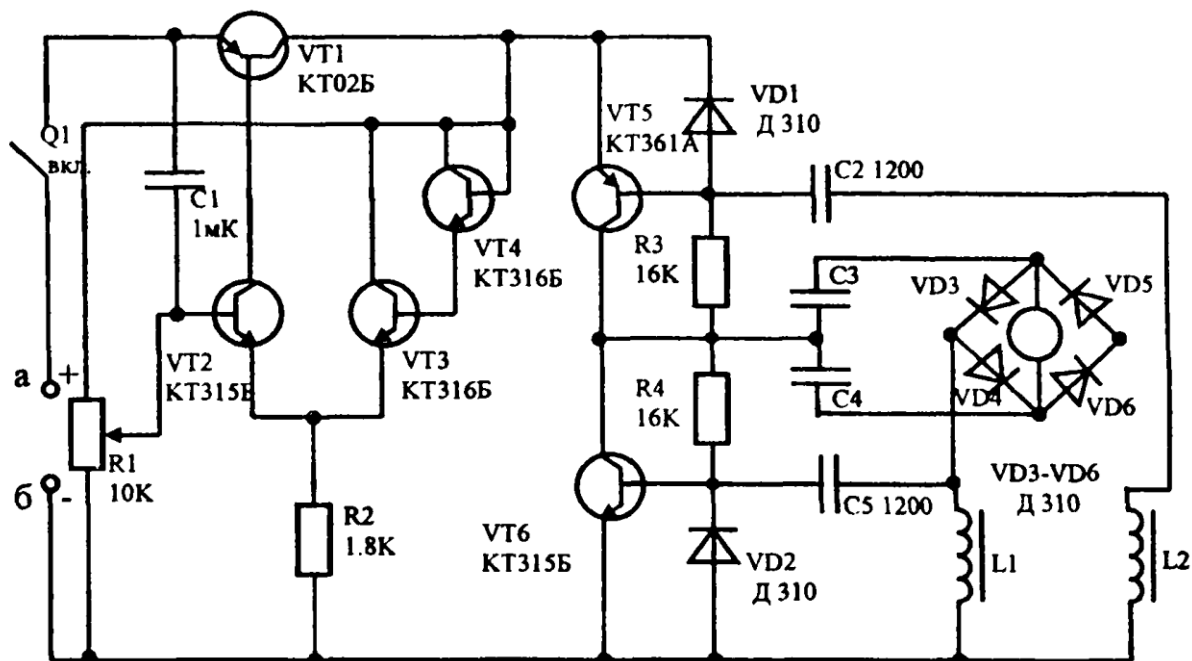
Исследуемый индуктивный измеритель перемещения основан на том, что под действием перемещения ферромагнитной пластинки-якоря изменяются индуктивности двух параметрических индуктивных датчиков, что, в свою очередь, приводит к изменению частоты резонансного колебательного LC-контура, в котором последовательно с указанными индуктивностями включены две ёмкости.

Изменение частоты в конечном итоге вызывает изменение разностного постоянного напряжения, а, следовательно, электрического тока в цепи измерительного прибора, микроамперметра РА1. Таким образом, осуществляется преобразование перемещения пластинки-якоря в электрический ток, регистрируемый прибором.

Индуктивный измеритель перемещений состоит из автогенератора колебаний, индуктивного дифференциального преобразователя низковольтного стабилизатора постоянного напряжения (см. рисунок 3). Генератор собран по схеме двухтактного релаксатора на комплементарной паре транзисторов VT5, VT6. Катушки L1 и L2 индуктивного преобразователя совместно с конденсаторами C3, C4 измерительного моста образуют последовательный колебательный контур, определяющий частоту колебаний генератора. Цепь положительной обратной связи образуют конденсаторы C2 и C5. Такое включение параллельных цепей

измерительного моста автоматически обеспечивает работу преобразователя перемещений в резонансном режиме, поскольку индуктивное сопротивление моста скомпенсировано ёмкостным

сопротивлением и полное сопротивление каждой цепи практически равно активному сопротивлению обмоток. Так как добротность контура $L_1 L_2 C_3 C_4$ значительно больше единицы, напряжение его нагрузки при оптимальной глубине обратной связи имеет строго синусоидальную форму.



Источник питания

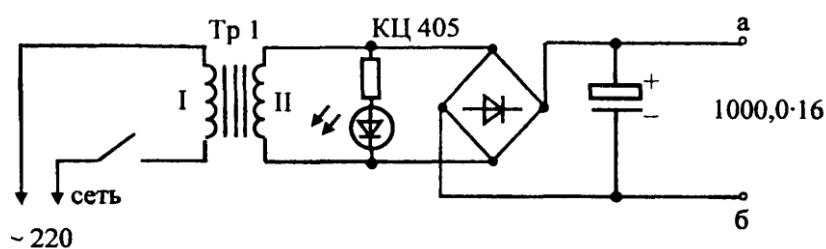


Рисунок 3

Диоды VD1 и VD2 совместно с конденсаторами C2 и C5, соответственно, образуют устройства восстановления постоянной составляющей, что увеличивает напряжение запускающих импульсов и существенно облегчает возбуждение автоколебаний при малом значении напряжения питания. Выделение разностного напряжения постоянного тока, пропорционального перемещению пластинки-якоря индуктивного преобразователя, обеспечивает кольцевой детектор, собранный на диодах VD3 – VD6.

Данная схема (см. рисунок 3) обеспечивает постоянство чувствительности измерителя при изменении ёмкости конденсаторов измерительного моста в пределах от 0,01 до 0,18 мкФ. При этом резонансная частота устанавливается автоматически. Она определяется параметрами последовательных LC-цепей.

К дестабилизирующим факторам, приводящим к погрешностям измерений, следует отнести изменение напряжения питания и температуры.

Для точной стабилизации напряжения питания измерителя перемещений использован в схеме компенсационный стабилизатор, собранный на транзисторах VT1 – VT4 (коэффициент стабилизации – примерно 150). Источником образцового напряжения служит транзистор VT4, включенный в качестве диода.

На транзисторах VT2, VT3 собран дифференциальный усилитель, сигнал рассогласования которого управляет регулирующим элементом, выполненным на транзисторе VT1. Напряжение стабилизации устанавливают подстроечным резистором R1 в пределах 1,8...2,5 В.

На рисунке 4 показана конструкция индуктивного преобразователя перемещений в электрический сигнал. Катушки L1 и L2 размещены на средних полюсах двух Ш-образных магнитопроводов М, установленных с зазором между полюсами. В этом зазоре помещена пластинка-якорь ПЯ, выполненная из ферромагнитного материала. Пластинка-якорь механически связана коромыслом К с перемещающимся звеном контролируемого механизма. Магнитопроводы преобразователя (Ш4Х4) выполнены из феррита 2000 НМ. Величины перемещений пластинки-якоря регистрируются микрометром с постоянной $C = 0,01$ мм/деление.

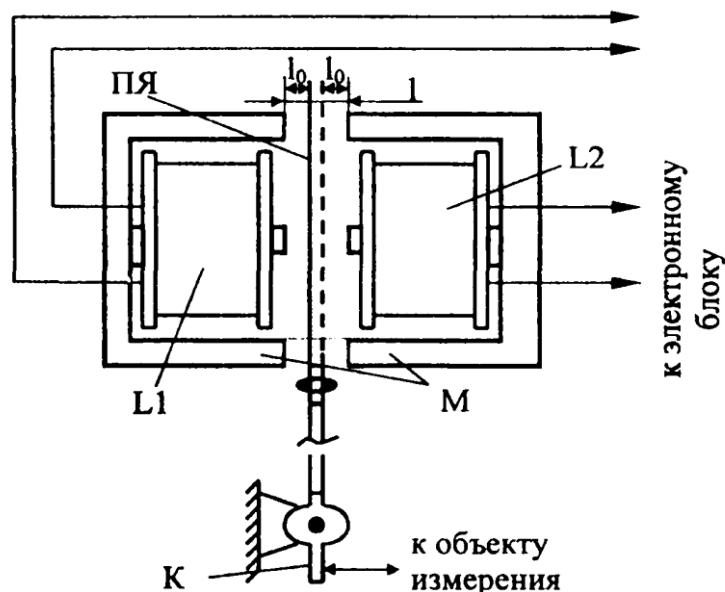


Рисунок 4

Функциональная связь между током измерителя и перемещением пластинки-якоря выражается соотношением:

$$I_u = \frac{0,9U_m}{X_L + R} \cdot \frac{wL_0}{\sqrt{(AwL_0)^2 + r^2}} A, \quad (3)$$

где U_m – амплитудное значение напряжения питания;

X_L – индуктивное сопротивление одной катушки преобразователя;

R – сопротивление микроамперметра РА1;

$\left[A = \frac{l}{l_0} \right]$ – отношение перемещения пластинки-якоря к зазору между

якорем и полюсом магнитопровода в исходном состоянии (см. рисунок 4);

L_0 – индуктивность одной катушки преобразователя при среднем положении пластинки-якоря;

r – активное сопротивление одной катушки ($r1=r2$);

w – циклическая частота питающего катушку тока.

Выходные сигналы преобразователя поступают на вход электронного блока (см. схему на рисунке 3), который в итоге позволяет на отдельных участках получить практически линейные функции преобразования измерителя. При этом возможны три режима работы измерителя:

1) отклонение пластинки-якоря осуществляется в обе стороны от среднего её положения; в этом случае функция преобразования имеет вид:

$$I_u = KI \quad (4)$$

где K – коэффициент преобразования, характеризующий чувствительность измерителя к перемещению; диапазоны изменения перемещения в этом случае $0 \leq I \leq \left(\frac{I_{\max}}{2}\right)$ и $\left(-\frac{I_{\max}}{2}\right) \leq I \leq 0$;

2) отклонение пластинки-якоря от левого крайнего до правого крайнего её положения, здесь функция преобразования выражается как

$$I_u = KI' \quad (5)$$

где I' – перемещение в системе координат с центром в крайнем левом положении якоря; $I' = I + \frac{I_{\max}}{2}$, величина $I' \geq 0$ и изменяется в пределах $0 \leq I \leq I_{\max}$;

3) отклонение пластинки-якоря от правого крайнего до левого крайнего её положения; при этом функция преобразования имеет вид

$$I_u = KI'' \quad (6)$$

где I'' – текущее перемещение в другой системе координат с центром в крайнем правом положении якоря; $I'' = I - \frac{I_{\max}}{2}$; величина $I'' \leq 0$ и изменяется в диапазоне $-I_{\max} \leq I \leq 0$.

Опыт. Определение функций преобразования измерителя малых перемещений

Функцию преобразования определяют для заданного преподавателем режима работы измерителя. Сначала определяют максимальный предел измерения микрометра, т.е. величину в I_{\max} . Затем для первого режима устанавливают стрелку микроамперметра РАІ посередине его шкалы. Это соответствует среднему положению якоря преобразователя. Далее вращаем лимб микроамперметра до совпадения его риски с нулём микрометра. После этого перемещают пластинку-якорь влево до $-I_{\max}/2$ и вправо до $I_{\max}/2$ от среднего положения (шаг перемещения задаётся преподавателем). При фиксированных положениях якоря регистрируют значение тока

микроамперметра и перемещения стрелки микрометра, связанного механически с пластинкой-якорем.

Для второго режима работы стрелку микроамперметра устанавливают в крайнее левое положение, переместив соответствующим образом пластинку-якорь. Далее ставят на нуль микрометр и, устанавливая заданные фиксированные значения I' (от 0 до I_{max}), снимают показания микрометра и микроамперметра.

Третий режим работы измерителя осуществляют, переместив пластинку-якорь в такое положение, при котором стрелка микроамперметра займёт крайнее правое положение. Затем ставят на нуль микрометр и определяют зависимость $I_u=f(I'')$ при изменении I'' от 0 до $-I_{max}$ с заданным шагом. Результаты измерений заносят в таблицу 1.

Таблица 1

I, I', I''	x, x', x''	I_u мкА	K , мкА/мм	K^* , мкА	K_{cp} , мкА/мм	K_{cp}^* , мкА	γ_k %	I_{np} , мкА	γ_m %

Для первого режима работы в таблице 1 используют два диапазона изменения I , по обе стороны от 0.

По данным таблицы 1 строят графики зависимостей $I=f(I)$, $I_u=f(I')$, $I_u=f(I'')$ и $I_u=f(x)$, $I_u=f(I')$ в соответствии с заданным режимом работы измерителя.

Значения x , x' и x'' в таблице 1 находятся как отношения $\pm 2I/I_{max}$; I'/I_{max} и $(-I''/I_{max})$ соответственно. По графикам и таблице 1 определяют диапазоны изменения перемещений, при которых измеритель имеет линейные и нелинейные участки характеристики.

Величины коэффициентов преобразования K и K^* находят из соотношений I_u/I ; I_u/I' ; I_u/I'' и I_u/x ; I_u/x' ; I_u/x'' в соответствии с заданным режимом измерителя.

Значения K и K_{cp}^* находят как среднеарифметические значения для перемещений в линейной области. Относительные разбросы коэффициентов преобразования γ_k рассчитывают для всех перемещений, исходя из формулы, %:

$$\gamma_k = \frac{K - K_{cp}}{K_{cp}} \cdot 100 \quad (7)$$

После этого находят аналитические выражения для функций преобразования на линейных и нелинейных участках характеристики. Причем записывают сначала формулы для линейных участков в соответствии с заданным режимом работы в виде:

$$I_{np} = K_{cp} \cdot I; \quad \leq I \leq ; \quad \leq I \leq ; \quad (8)$$

$$I_{np} = K_{cp} \cdot I'; \quad \leq I \leq ; \quad (9)$$

$$I_{np} = K_{cp} \cdot I''; \quad \leq I \leq ; \quad (10)$$

Расчетные значения токов I_{np} (см. таблицу 1) для линейных участков находят, подставляя текущие величины I, I', I'' , в формулы (8) – (10).

Затем находят аналитические выражения для функций преобразования на их нелинейных участках. Указанные выражения определяют, аппроксимируя функцию преобразования на этих участках в виде парабол. При этом

$$I_{np} = aI^2 + bI + c; \quad \leq I \leq ; \quad (11)$$

$$I_{np} = a(I')^2 + bI' + c; \quad \leq I' \leq ; \quad (12)$$

$$I_{np} = a(I'')^2 + bI'' + c; \quad \leq I'' \leq ; \quad (13)$$

где a, b, c – размерные коэффициенты.

Значения этих коэффициентов находят, подставляя в уравнения (11) – (13) величины перемещений (два из них на краях и одно посередине нелинейного участка) и соответствующих им величин токов. Таким образом, для каждого режима составляют систему из трёх уравнений, в которых неизвестными являются коэффициенты a, b, c . Далее решают эту систему и определяют величины a, b, c . Последние записываются в виде:

$$a = \text{мкА/мм}^2; \quad b = \text{мкА/мм}; \quad c = \text{мкА}.$$

После этого записывают аналитические формулы для нелинейных участков функций преобразования в виде (11) – (13).

Затем в полученные аналитические формулы подставляют все значения перемещений, соответствующих нелинейным участкам, и находят расчётные значения токов I_{np} для этих перемещений.

Определяют методические погрешности γ_m , возникающие при использовании аналитических выражений для функций преобразования в линейной и нелинейных областях, %:

$$\gamma_m = \frac{I_{np} - I_u}{I_u} \cdot 100. \quad (14)$$

Контрольные вопросы

1. Объясните принцип действия индуктивного преобразователя малых перемещений.
2. Как в электрической схеме измерителя происходит преобразование перемещения в электрический ток?
3. Поясните работу электрической схемы измерителя перемещения. Опишите конструкцию используемого в работе индуктивного преобразователя.
4. Расскажите о режимах работы измерителя.
5. Как получить экспериментальным и расчётным путём функцию преобразования для линейных и нелинейных её участков? Как найти аппроксимационные функции?

Литература

1. Новицкий П.В. Электрические измерения неэлектрических величин. – Л.: Энергия, 1975. – С.301 – 326.
2. Левшин Е.С., Новицкий П.В. Электрические измерения физических величин. Измерительные преобразователи. – Л.: Энергоатомиздат, 1963. – С.176 – 190.
3. Полищук Е.С. Измерительные преобразователи. – Киев: Высшая школа, 1984. – С.170 – 180.
4. Храмов А.В. Первичні вимірювальні перетворювачі приладів і автоматичних систем. – Київ: Вища школа, 1998. – С.140 – 146, 216 – 220.

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОСТАТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Целью работы является изучение принципов построения реостатных преобразователей и исследование характеристик обычного и профилированного (синтезированного) реостатного датчиков перемещения.

Работа реостатного преобразователя основана на изменении электрического сопротивления реостата под действием на его движок преобразуемых входных неэлектрических величин. В качестве последних могут быть перемещения (линейные и угловые), сила, давление, момент. Реостатные преобразователи широко применяются для измерения уровней жидкости с помощью поплавка, механически связанного с движком преобразователя.

Конструктивно реостатный датчик представляет собой каркас, на который намотан провод (рисунок 1).

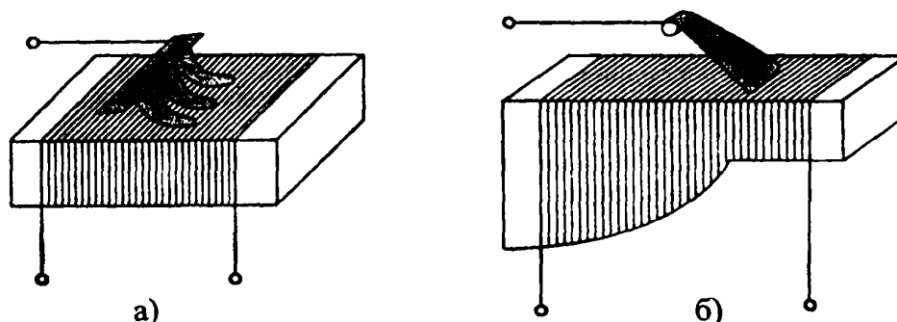


Рисунок 1 – Реостатный датчики

К материалу проволоки реостатных преобразователей предъявляется ряд требований, в частности, он должен обладать высоким удельным электрическим сопротивлением, малым ТКС, обладать стабильностью характеристик во времени, высокой коррозионной стойкостью, большой прочностью на разрыв. В реостатных преобразователях широко используют обмотки из манганина, николь – константана, а в случаях, когда преобразователь должен работать в условиях повышения температур, обмотки изготавливают из железохромовых или никелево-хромовых

сплавов. В особо ответственных случаях и при специфических условиях работы применяют сплавы на базе благородных металлов.

Для обеспечения высокой стабильности характеристик реостатных преобразователей предъявляются определённые требования и к каркасам. Он должен сохранять свои размеры в широком температурном диапазоне, в условиях повышенной влажности. Кроме того, каркасы должны обладать высокой теплопроводностью, что позволит удельную рассеиваемую в преобразователе мощность. Поэтому каркасы прецизионных реостатных преобразователей изготавливают из алюминиевых сплавов АМг, Д1 и Д16. В преобразователях, допускающих погрешность преобразования 1% и более, они могут изготавливаться из изоляционных материалов, например, гетинакса, текстолита, стеклопластика.

Конструкция контактных щеток в значительной степени определяют качество преобразователя и в первую очередь уровень так называемого контактного шума, генерируемого щеткой при её движении по дорожке преобразователя. Контактный шум, возникающий в области контакта, вызывается вариациями контактной площади и контактного давления, особенно при наличии на дорожке посторонних частиц. Контактный шум имеет тенденцию к росту во времени, вследствие износа, загрязнения и окисления дорожки и щётки.

Вид функции преобразования $R_{вых} = f(x)$ реостатного преобразователя определяется характером изменения шага намотки по длине каркаса или профилем каркаса при равномерном шаге намотки.

Источниками погрешностей реостатных преобразователей является дискретность выходного сопротивления, отклонение функции преобразования от расчётной, вызванное непостоянством диаметра намоточного провода и его удельного электрического сопротивления, изменение температуры преобразователя, термодинамические и токовые шумы, влияние сопротивления нагрузки.

Погрешность дискретности для преобразователей с равномерной намоткой (линейных преобразователей):

$$\delta_{дискр} = \frac{\Delta R_{min}}{R_{II}} = \frac{1}{\omega}, \quad (1)$$

где ΔR_{min} – сопротивление одного витка преобразователя;

R_{Π} , ω - полное сопротивление и число витков обмотки преобразователя.

Для реальных конструкций линейных реостатных преобразователей число витков составляет около 2000, а погрешность дискретности соответственно равна 0,05%. Суммарная погрешность, вызванная непостоянством электрических параметров преобразователя, достигает 0,03...0,1%. Температурная погрешность, определяемая, прежде всего, температурным коэффициентом сопротивления намоточного провода, не превышает обычно 0,1% на 10°C.

Методическая погрешность, вызванная влиянием сопротивления нагрузки, в общем случае определяется соотношением сопротивлений преобразователя и нагрузки и в различных измерительных цепях проявляется по-разному. Если, например, линейный реостатный преобразователь включён в цепь как делитель напряжения (рисунок 2) то,

$$\frac{U_{\text{вх}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{R_X / R_{\Pi}}{1 + R_X / R_H (1 - R_X / R_{\Pi})}. \quad (2)$$

Так как для нагруженного преобразователя ($R_H = \infty$)

$$\frac{U'_{\text{вх}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{R_X}{R_{\Pi}}, \quad (3)$$

то методическая погрешность, $U_{\text{вх}} / U_{\text{вх}}$

$$\delta_U = \frac{U'_{\text{вх}} - U_{\text{вх}}}{U'_{\text{вх}}} = \frac{R_{\Pi}}{R_H} \left(\frac{R_X}{R_{\Pi}} - 1 \right) \frac{R_X}{R_{\Pi}}, \quad (4)$$

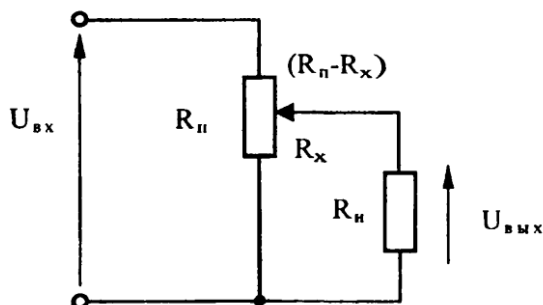


Рисунок 2 – Измерительная цепь реостатного преобразователя

На рисунке 3 представлены погрешности линейного реостатного преобразователя от влияния сопротивления нагрузки

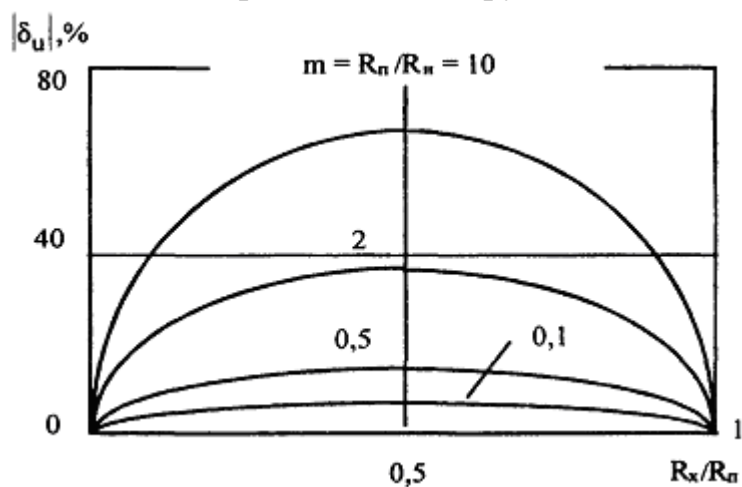


Рисунок 3 – Погрешности линейного реостатного преобразователя от влияния сопротивления нагрузки

Опыт 1. Определение зависимости напряжения от изменения сопротивления обычного реостатного преобразователя

Функциональная схема лабораторного макета приведена на рисунке 4 и состоит из обычного (1) и профилированного (2) реостатных преобразователей, подвижной каретки с контактами (3), винта (4), мерной линейки (5), блока питания (6), измерительного прибора (7).

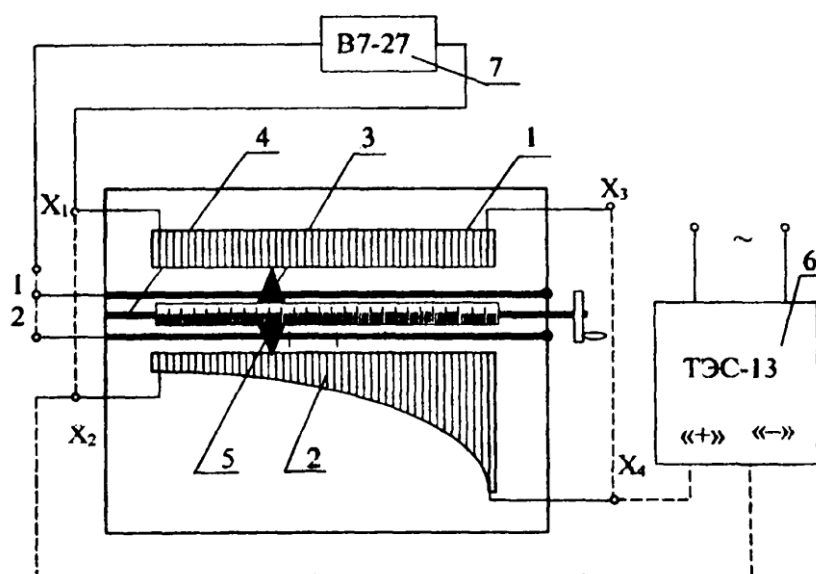


Рисунок 4

В качестве измерительного прибора используется цифровой вольтметр В7-27, подсоединяемый к клеммам $X_1 - X_2$ и 1 или 2 в зависимости от того, какой из реостатных преобразователей исследуется. Данный макет даёт возможность получить градуировочные кривые для двух типов реостатных преобразователей, а также значения их сопротивлений в различных точках по длине преобразователя.

Порядок выполнения опыта

С помощью соединительных проводов включить обычный реостатный преобразователь в цепь (рисунок 4). Разъемы измерительного прибора подключить к клеммам X_2 и X_3 соответственно. Измерительный прибор привести в режим «Вольтметр U». Установить подвижную каретку 3 в начало координат. После проверки собранной схемы преподавателем включить приборы в сеть.

По заданию преподавателя установить на блоке питания требуемое значение напряжения U_{II} . Затем с помощью ручки винта 4 перемещать каретку вдоль мерной линейки и в фиксированных точках измерять

значения напряжения. Шаг и диапазон перемещения каретки задаёт преподаватель. Повторить опыт для трёх значений U_{II} .

Результаты измерений напряжений занести в таблицу 1.

Таблица 1

Режим работы: $U_{II} = \dots$							
$l, \text{мм}$...			
$U, \text{В}$...			
Режим работы: $U_{II} = \dots$							
$l, \text{мм}$...			
$U, \text{В}$...			
Режим работы: $U_{II} = \dots$							
$l, \text{мм}$...			

$U, В$...			
--------	--	--	--	-----	--	--	--

По данным таблицы 1 построить графические зависимости $U=f(I)$.

Опыт 2. Определение зависимости напряжения от изменения сопротивления профилированного реостатного преобразователя

Порядок выполнения опыта

С помощью соединительных проводов включить профилированный реостатный преобразователь в цепь (рисунок 4). Разъёмы измерительного прибора подключить к клеммам X_1 и 2; соединительные провода от блока питания подсоединить к клеммам X_2 и X_4 , соответственно.

Снятие показаний производится аналогично методике опыта 1. Шаг и диапазон перемещения каретки задаёт преподаватель. Результаты измерений напряжений занести в таблицу 2, которая заполняется по форме таблицы 1. По данным таблицы 2 построить графические зависимости $U=f(I)$.

Опыт 3. Определение зависимости сопротивления от изменения положения каретки обычного реостатного преобразователя

С помощью соединительных проводов включить обычный реостатный преобразователь в цепь (рисунок 5). Блок питания в этом опыте не используется. Разъёмы измерительного прибора подключить к клеммам X_1 и 1 соответственно. Измерительный прибор привести в режим «Омметр». После проверки собранной схемы преподавателем включить прибор в сеть. Установить подвижную каретку в начало координат. Затем с помощью ручки винта перемещать каретку вдоль мерной линейки и в фиксированных точках измерять значения сопротивления. Шаг и диапазон перемещения каретки задаёт преподаватель.

Результаты измерений сопротивления занести в таблицу 3.

Таблица 3

$l, мм$...			
$R, Ом$...			

По данным таблицы 3 построить графические зависимости $R=f(l)$.

Опыт 4. Определение зависимости сопротивления от изменения положения каретки профилированного реостатного преобразователя
Порядок выполнения опыта

С помощью соединительных проводов включить профилированный реостатный преобразователь в цепь (рисунок 5). Разъемы измерительного прибора подключить к клеммам X_1 и 2 соответственно. Блок питания в этом опыте также не используется. Снятие показаний производится аналогично методике опыта 3. Шаг и диапазон перемещения каретки задаёт преподаватель. Результаты измерений сопротивлений занести в таблицу 4, которая заполняется по форме таблицы 3.

Таблица 4

$l, \text{мм}$...			
$R, \text{Ом}$...			

По данным таблицы 4 построить графические зависимости $R=f(l)$.

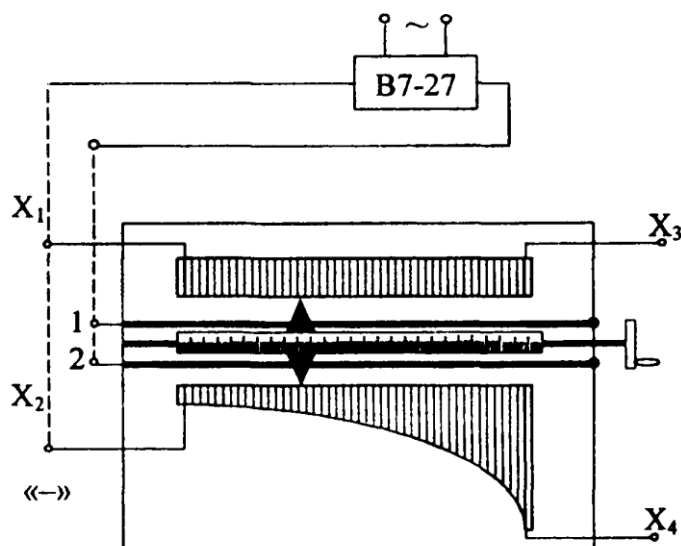


Рисунок 5

Опыт 5. Определение зависимости тока от изменения сопротивления обычного реостатного преобразователя

Порядок выполнения опыта

С помощью соединительных проводов включить обычный реостатный преобразователь в цепь (рисунок 6). Разъёмы измерительного прибора подключить к клеммам X_1 и « $-$ » блока питания соответственно, соединительный провод « $+$ » от блока питания подсоединить к клемме X_3 . Измерительный прибор привести в режим «Амперметр $I=$ ». Установить подвижную каретку в начало координат. После проверки собранной схемы преподавателем включить прибор в сеть.

По заданию преподавателя установить на блоке питания требуемые значения напряжения U_{II} . Затем, с помощью ручки винта перемещать каретку вдоль мерной линейки и в фиксированных точках измерять значения тока. Шаг и диапазон перемещения каретки задаёт преподаватель. Результаты измерений тока занести в таблицу 5.

Таблица 5 – Режим работы $U_{II}=$

$l, \text{ мм}$...			
$I, \text{ А}$...			

По данным таблицы 5 построить графические зависимости $I=f(l)$.

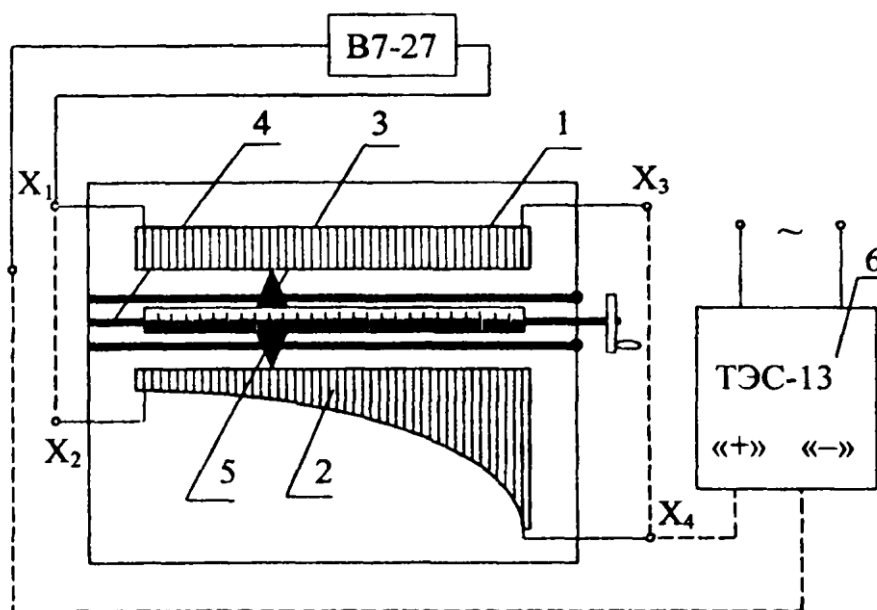


Рисунок 6

Опыт 6. Определение зависимости тока от изменения сопротивления профилированного реостатного преобразователя **Порядок выполнения опыта**

С помощью соединительных проводов включить профилированный реостатный преобразователь в цепь (рисунок 6). Разъёмы измерительного прибора подключить к клеммам X_2 и « – » блока питания соответственно; соединительный провод от блока питания подсоединить к клемме X_4 .

Снятие показаний производится аналогично методике опыта 5. Шаг и диапазон перемещения каретки задаёт преподаватель. Результаты измерений тока занести в таблицу 6, которая заполняется по форме таблицы 5.

По данным таблицы 6 построить графические зависимости $I=f(l)$.

Оформление отчёта

В отчёте должны быть приведены все соотношения, описывающие заданный режим работы преобразователя, принципиальная схема лабораторного макета, таблицы, кривые зависимостей $U=f(l)$, $R=f(l)$, $I=f(l)$.

Контрольные вопросы

1. Устройство, принцип действия и области применения реостатных преобразователей.
2. Основные схемы включения реостатных преобразователей.
3. Как получить линейную токовую характеристику реостатного преобразователя в широком диапазоне перемещения ?
4. Выведите соотношения для функций преобразования обычного и профилированного реостатного преобразователя.
5. Синтез реостатного преобразователя перемещения.
6. Получение выражения для функций преобразования при переносах начала системы координат в разные точки.

7. Как определить экспериментально функции преобразования (градуировочные кривые) реостатных датчиков в заданном режиме их работы?
8. Определение чувствительности преобразователей к перемещению.
9. Как оценить погрешности измерений перемещений с помощью реостатных преобразователей?
10. Сравните характеристики для обычного и профилированного реостатных преобразователей перемещения.

Литература

1. Левшин Е.С., Новицкий П.В. Электрические измерения физических величин. Измерительные преобразователи. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – С.89 – 92.
2. Полищук Е.С. Измерительные преобразователи. – Киев: Высшая школа, 1981. – С.104 – 112.
3. Храмов А.В. Первичні вимірювальні перетворювачі приладів і автоматичних систем. – Київ: Вища школа, 1998. – С.133 – 140, 216 – 220.

Лабораторная работа № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕНТИЛЬНОГО ФОТОЭЛЕМЕНТА

Целью работы является приобретение навыков работы с люксметром Ю116, изучение принципов построения вентильного фотоэлемента и люксметра.

Диапазон электромагнитных волн охватывает около 50 октав (октаве соответствует интервал частот (или длин волн), у которого отношение граничных частот равно 1: 2), из которых на видимый свет приходится только одна октава. Этот диапазон волн от 390 до 770 нм и называют светом в узком смысле слова (см. Приложение А).

Следует различать общие величины, характеризующие любое электромагнитное излучение, и специфические фотометрические величины. В то время, как первые из них объективно характеризуют общие электрические свойства излучения, вторые выражают субъективное восприятие света человеком (Приложение Б).

Освещённостью E называется отношение светового потока к площади освещаемой поверхности.

$$E = \frac{I \cdot \cos \alpha}{r^2}, \quad (1)$$

где E – освещённость, лк;

I – сила света, кд;

r – расстояние между источником света и освещаемой поверхностью, м;

α - угол между направлением распространения света и нормалью к поверхности.

Для измерения освещённости используется люксметр. Люксметр представляет собой микроамперметр, подключённый к фотоэлементу. Для согласования спектральной чувствительности фотоэлемента с кривой видимости глаза используется фильтр.

Фотоэлектрическими датчиками называются устройства, изменяющие свои параметры при воздействии на них световой энергии.

Достоинствами фотоэлектрических датчиков являются их простота, малые габариты, высокая чувствительность и отсутствие механической связи с преобразуемым процессом. Основные характеристики фотоэлектрических датчиков:

1. Световая характеристика – зависимость фототока от интенсивности падающего на фотоэлемент светового потока.

2. Спектральная характеристика – зависимость фототока от длины волны падающих лучей при постоянной освещенности.

3. Инерционная (частотная) характеристика – зависимость фототока от частоты изменения интенсивности падающего светового потока.

4. Вольтамперная характеристика – зависимость фототока от прикладываемого между электродами фотоэлемента напряжения при постоянном световом потоке.

Кроме указанных характеристик, фотоэлементы оцениваются по стабильности их параметров с течением времени (старение) и при изменении температуры рабочей среды.

Фотоэлементы находят широкое применение в качестве датчиков различных измерительных и регулирующих устройств для измерения и регулирования температуры, уровней, перемещений и скорости, для сортировки и отбраковки деталей и т.п.

Чувствительность фотоэлемента определяют как отношение приращения фототока к приращению светового потока:

$$S = \frac{\Delta I_{\phi}}{\Delta \Phi}. \quad (2)$$

Она зависит от типа фотоэлемента и величины нагрузочного сопротивления. Для повышения чувствительности фотоэлементы могут быть включены электрически последовательно друг с другом.

Вентильные фотоэлементы могут работать в двух режимах: фотогенераторном (вентильном) и фотодиодном. В фотогенераторном режиме источник внешнего напряжения отсутствует. В фотодиодном режиме к фотодиоду приложено запирающее напряжение. При отсутствии облучения под действием этого напряжения проходит лишь небольшой ток, а при освещении р-п – перехода ток увеличивается в зависимости от интенсивности облучения. Вентильные фотоэлементы используются, в

основном, в диодном режиме, т.е. с внешним источником напряжения, подключённым к фотоэлементу в обратном направлении. При таком включении потенциальный барьер возрастает и определяется внешним напряжением. Условие проникновения неосновных носителей через р-п – переход существенно облегчается, а обратное сопротивление этого перехода резко возрастает. В результате возрастает чувствительность, а световые характеристики становятся линейными в широком диапазоне световых потоков. Наибольшее распространение получили кремниевые и германиевые фотодиоды.

Люксметр. Назначение, принцип построения

В данной работе вентильный фотоэлемент представляет собой полупроводниковый диод (рисунок 1), чувствительным элементом которого является полупроводник р-типа, на котором специальной обработкой образован тонкий слой полупроводника п-типа, и разделяющий их тончайший запирающий слой, называемый р-п – переходом.

Сверху полупроводник покрыт полупрозрачным металлическим слоем или сеткой 1 из серебра, золота или платины, служащей верхним электродом. Нижним электродом является металлическое основание 2.

Под действием светового потока, проникающего через полупрозрачный электрод и тонкий слой п-полупроводника, вследствие фотоэффекта в р-полупроводнике образуется повышенная концентрация электронно-дырочных пар. Электроны увлекаются потенциальным барьером на границе р-п – перехода и беспрепятственно проникают в слой п-полупроводника, заряжая его отрицательно, а дырки, оставшиеся в р-полупроводнике, заряжают его положительно. В результате этого процесса между электродами возникает разность потенциалов, значение которой зависит от интенсивности светового потока и интегральной чувствительности фотоэлемента.

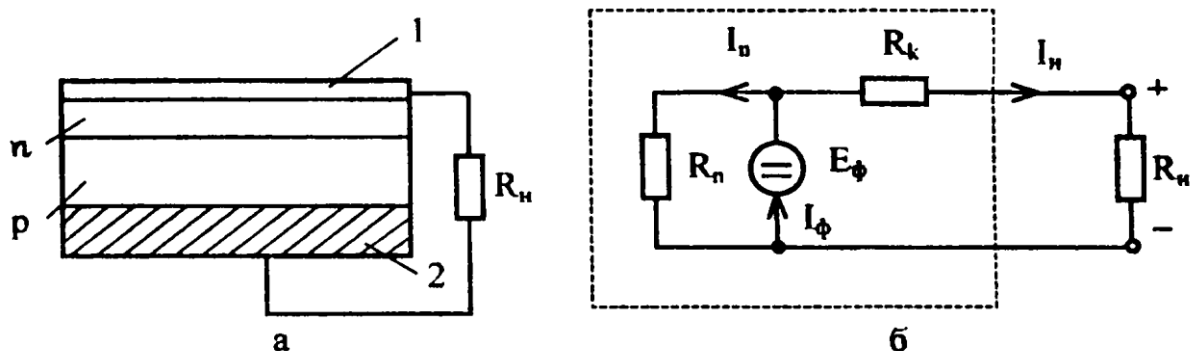


Рисунок 1 –Вентильный фотоэлемент и его эквивалентная схема

Если к электродам освещаемого вентильного фотоэлемента подключить сопротивление нагрузки R_n , то под действием возникшей фото-ЭДС в цепи потечёт электрический ток, который, как это следует из эквивалентной схемы фотогенератора (рисунок 1б), будет:

$$I_n = I_\phi \frac{R_n(\Phi)}{R_n(\Phi) + R_k + R_n} = \frac{K\Phi}{1 + \frac{(R_k + R_n)}{R_n(\Phi)}}, \quad (3)$$

где $R_n(\Phi)$ –внутреннее сопротивление фотоэлемента, являющееся функцией светового потока;

R_k –сопротивление контактов;

$I_\phi = K\Phi$ –первичный фототок, возбуждаемый в фотогенераторе (вентильном фотоэлементе).

При малых значениях потока и малых сопротивлениях нагрузки $R_k + R_n \ll R_n(\Phi)$ ток в нагрузке будет линейной функцией светового потока. При больших световых потоках световые характеристики нелинейны даже в режимах короткого замыкания, так как в этом случае $R_n(\Phi) < R_k$.

Следует отметить, что вентильные фотоэлементы обладают большой инерционностью, из-за чего они могут быть использованы лишь при постоянных световых потоках.

В качестве примера в таблице 1 приведены основные технические характеристики вентильного фотоэлемента ФЭСС-2 (сернисто-серебряный).

Таблица 1 – Основные параметры вентильного фотоэлемента ФЭСС-2

Тип фотоэлемента	Интегральная чувствительность, мкА/лм	Внутреннее темновое сопротивление, Ом	Максимальная частота, Гц	Фото-ЭДС, мВ
ФЭСС-2	3500...8000	1500...3000	5...10	60...150

Люксметр Ю-116 позволяет измерять освещённость в диапазоне от 5 до 100 лк. Существует два основных предела измерений: (5 – 30) лк и (17 – 100) лк. Выбор предела осуществляется дискретно.

На рисунке 2 изображена передняя панель люксметра Ю-116.

Фиксацией кнопок 1 или 2 можно выбрать необходимый предел измерений. Расширение предела осуществляется с помощью светофильтров М10, М100, М1000, обозначенных на рисунке (К, М), (К, Р) и (К, Т) соответственно.



Рисунок 2 – Передняя панель люксметра Ю-116

Функциональная схема люксметра Ю-116 представлена на рисунке 3.

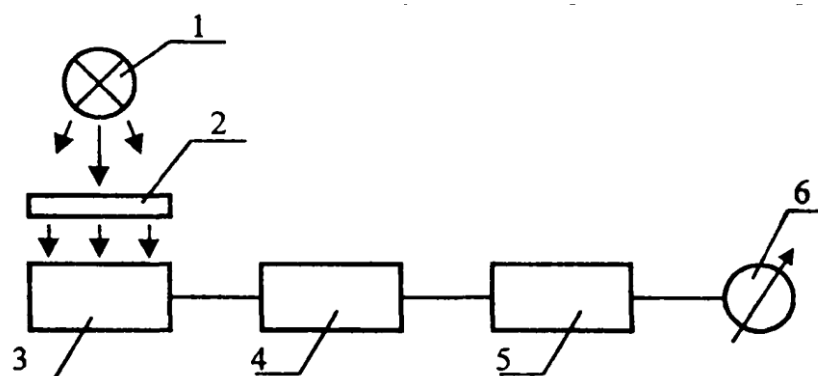


Рисунок 3 – Функциональная схема люксметра Ю-11

Обозначения на рисунке следующие: 1 – источник света; 2 – светофильтр; 3 – вентильный фотоэлемент; 4 – делитель напряжения; 5 – усилитель; 6 – микроамперметр.

Проходящий через светофильтр 2, световой поток, преобразуется в вентильном фотоэлементе в электрический сигнал, который после преобразования в блоке 4 и усиления в блоке 5 поступает на микроамперметр. Шкала микроамперметра градуирована в единицах освещённости.

Опыт 1. Определение зависимости освещённости от расстояния между источником света и освещаемой поверхностью при $U=const$

Функциональная схема лабораторного макета представлена на рисунке 4 и состоит из ЛАТРа 1, цифрового вольтметра 2, фотоувеличителя 3, фотоэлемента 4, люксметра с набором фильтров 5.

Данный макет даёт возможность получить зависимости освещённости от расстояния между источником света и освещаемой поверхностью, освещённости от питающего напряжения.

Порядок выполнения опыта

1. Собрать схему (рисунок 4).
2. Перевести измерительный прибор в режим $\ll V \sim \gg$ и установить предел 1000 В.
3. После проверки собранной схемы преподавателем, включить прибор в сеть.
4. С помощью ЛАТРа установить на измерительном приборе значение напряжения 220 В.
5. Шаг и диапазон перемещения источника света задаёт преподаватель.
6. Изменяя значение высоты h снять зависимость $Q = f(h)$ и результаты занести в таблицу 2.
7. Повторить опыт с использованием фильтров M10 и M100.
8. По результатам измерений построить графики $Q = f(h)$.

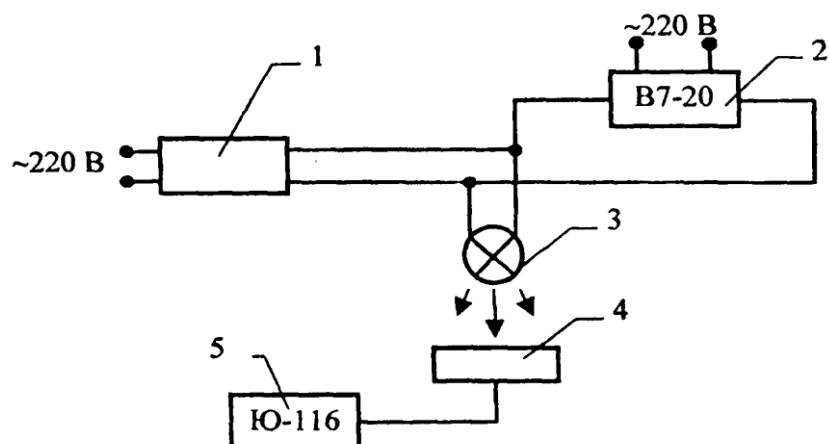


Рисунок 4 – Функциональная схема лабораторного макета

Таблица 2

Режим работы: $U = 220 \text{ В}$							
$h, \text{ см}$...			
$Q, \text{ лк}$...			
Режим работы: $U = 220 \text{ В}$, фильтр М10							
$h, \text{ см}$...			
$Q, \text{ лк}$...			
Режим работы: $U = 220 \text{ В}$, фильтр М100							
$h, \text{ см}$...			
$Q, \text{ лк}$...			

Опыт 2. Определение зависимости освещённости от значения питающего напряжения при $h = \text{const}$

Порядок выполнения опыта

1. Установить источник света на высоте (h), указанной преподавателем.
2. Изменяя значение напряжения с помощью ЛАТРа, снять зависимость $Q = f(U)$. Шаг и диапазон изменения напряжения задаётся преподавателем.
3. Результаты измерений занести в таблицу 3.
8. По результатам измерений построить графики $Q = f(U)$.

Таблица 3

Режим работы: $h = \dots$ см							
$U, В$...			
$Q, лк$...			

Оформление отчёта

В отчёте должны быть приведены соотношения, описывающие заданный режим работы люксметра, принципиальная схема лабораторного макета, таблицы, графики зависимостей $Q = f(h)$, $Q = f(U)$.

Контрольные вопросы

1. Люксметр. Назначение. Принцип построения.
2. Вентильный фотоэлемент. Принцип построения.
3. Объяснить полученные графики зависимостей.

Литература

1. Полищук Е.С. Измерительные преобразователи. – Киев: Высшая школа, 1981. – С.271 – 273.
2. Широков К.П., Богуславский М.Г. Международная система единиц. – Москва: Издательство стандартов, 1984.
3. Храмов А.В. Первичні вимірювальні перетворювачі приладів і автоматичних систем. – Київ: Вища школа, 1998. – С.153 – 157, 167 – 172, 216 – 220.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Электромагнитные волны. Справочная таблица

Длина волны	Вид волн	
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: black; margin-right: 5px;"></div> $10^6 \text{ м} = 1000 \text{ км}$ <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: black; margin-right: 5px;"></div> $10^5 \text{ м} = 100 \text{ км}$ </div> </div>	Сверхдлинные	
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: black; margin-right: 5px;"></div> $10^4 \text{ м} = 10 \text{ км}$ <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: black; margin-right: 5px;"></div> $10^3 \text{ м} = 1 \text{ км}$ </div> </div>	Радиволны	Длинные
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: black; margin-right: 5px;"></div> 10^2 м <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: black; margin-right: 5px;"></div> 10 м </div> </div>		Средние
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: black; margin-right: 5px;"></div> 1 м <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: black; margin-right: 5px;"></div> $10^{-1} \text{ м} = 10 \text{ см}$ </div> </div>		Короткие
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: black; margin-right: 5px;"></div> $10^{-2} \text{ м} = 1 \text{ см}$ <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: black; margin-right: 5px;"></div> $10^{-3} \text{ м} = 1 \text{ мм}$ </div> </div>	СВЧ-волны	Ультракороткие Телевидение
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: black; margin-right: 5px;"></div> $10^{-4} \text{ м} = 0,1 \text{ мм} = 100 \text{ мкм}$ <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: black; margin-right: 5px;"></div> $10^{-5} \text{ м} = 0,01 \text{ мм} = 10 \text{ мкм}$ </div> </div>	Инфракрасные волны	Радиолокация
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: black; margin-right: 5px;"></div> $10^{-6} \text{ м} = 1 \text{ мкм}$ <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: black; margin-right: 5px;"></div> $10^{-7} \text{ м} = 100 \text{ нм}$ </div> </div>	Видимый свет	770 нм 390 нм
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: black; margin-right: 5px;"></div> $10^{-8} \text{ м} = 10 \text{ нм}$ <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: black; margin-right: 5px;"></div> $10^{-9} \text{ м} = 1 \text{ нм}$ </div> </div>	Ультрафиолетовое излучение	
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: black; margin-right: 5px;"></div> $10^{-10} \text{ м} = 100 \text{ пм} = 1 \text{ А}$ <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: black; margin-right: 5px;"></div> $10^{-11} \text{ м} = 10 \text{ пм}$ </div> </div>	Рентгеновское излучение	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="text-align: center;"> Мягкое ↑ ↓ Жесткое </div> </div>
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: black; margin-right: 5px;"></div> $10^{-12} \text{ м} = 1 \text{ пм}$ <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: black; margin-right: 5px;"></div> $10^{-13} \text{ м} = 1 \text{ икс-ед.}$ </div> </div>	γ – излучение	
<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; background-color: black; margin-right: 5px;"></div> 10^{-14} м </div>	Космические лучи	

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Сравнение величин, характеризующих излучение, и фотометрических величин. Справочная таблица

Общие величины	Единицы	Фотометрические величины	Единицы
Энергия излучения, W, Q_e	Дж	Световая энергия (количество света) W	лм·с
Поток излучения (мощность излучения), Φ_e	Вт	Световой поток Φ	Лм
Энергетическая экспозиция, H_e	Дж/м ²	Световая экспозиция H	лк·с
Энергетическая освещённость (поверхностная плотность потока излучения), E_e	Вт/м ²	Освещённость E	лк
Сила излучения (энергетическая сила света), I_e	Вт/ср	Сила света I	кд
Энергетическая яркость, B_e	Вт/(ср· м ²)	Яркость B	кд/м ²

Лабораторная работа № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ЕМКОСТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Целью работы исследование принципов действия емкостных преобразователей линейного и углового перемещений, приобретение навыков работы с цифровым измерителем ёмкости Е 8-4.

Емкостные преобразователи могут быть разделены на две группы: генераторные и параметрические.

Входной величиной генераторных емкостных преобразователей обычно является электрическое напряжение, выходной – линейное или угловое перемещение подвижного электрода. К этой группе относятся электростатические механизмы, а так же обратные электростатические преобразователи приборов уравнивания для измерения механических величин. Входной величиной параметрических емкостных преобразователей является перемещение, а выходной – изменение ёмкости. В сочетании с механическими преобразователями давлений, сил, ускорений и вибраций в механическое перемещение они являются неотъемлемыми элементами емкостных манометров, динамометров, виброметров, акселерометров и т.д. Емкостные преобразователи представляют собой электрические конденсаторы, ёмкости которых могут меняться под действием измеряемой величины на площадь прикрытия обкладок, величину зазора или диэлектрическую проницаемость среды между обкладками.

По структуре построения емкостные преобразователи можно разделить на дифференциальные и недифференциальные. Преобразователи второй группы имеют подвижную и неподвижную обкладки, разделённые воздушным зазором. Перемещение подвижной обкладки приводит к изменению полезной площади обкладок или воздушного зазора между ними. Дифференциальные преобразователи содержат два конденсатора, ёмкости которых изменяются с разным знаком при перемещении подвижной обкладки. Несмотря на некоторое усложнение конструкции, такие схемы обладают более высокой чувствительностью и линейностью характеристики, а так же имеют меньшую зависимость точности измерений от источника питания и изменения влажности и температуры окружающей среды.

По конструктивному решению чувствительных элементов ёмкостные преобразователи подразделяют на плоскопараллельные, коаксиальные, стержневые, с обкладками, выполненными из штока, однолучевые, многолучевые и т.д.

Несмотря на кажущиеся отличия, все конструктивные решения преобразователей можно свести, в основном, к двум типам: коаксиальному и плоскопараллельному.

Ограничившись рассмотрением типов емкостных преобразователей, используемых в качестве измерительных преобразователей линейных перемещений, их основные конструктивные схемы и выходные характеристики можно представить в виде таблицы (см. Приложение А).

Выражение для ёмкости преобразователя с плоскопараллельными обкладками, работающего в диэлектрических средах, без учёта краевого эффекта, можно записать в виде:

$$C = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \frac{S}{d} = 8,85 \cdot 10^{-2} \cdot \varepsilon \cdot \frac{S}{d} [\text{пФ}], \quad (1)$$

где ε_0 – электрическая постоянная ($8,85 \cdot 10^{-2}$, пФ/см);

ε - относительная диэлектрическая проницаемость среды;

d – расстояние между обкладками конденсатора [см];

S – площадь пластины [см²].

Формула (1) распространяется на случай, когда ε имеет однородный характер, и в дальнейшем будут рассматриваться только такие типы преобразователей.

Для всех типов емкостных преобразователей с постоянной величиной зазора между обкладками, информативным параметром является изменение площади покрытия пластин S , а для преобразователей с постоянной площадью пластин – переменный зазор d .

Относительное изменение ёмкости для преобразователей с плоскопараллельными обкладками (см. формулу 1), определяется как

$$\delta_C = \delta_\varepsilon + \delta_S - \delta_d \quad (2)$$

Площадь S определяется линейными размерами, составляющими 10 – 100 мм, и изменение этих размеров на 0,1 – 1 мкм вызывает пренебрежимо малое изменение площади S и ёмкости C .

Зазор d в ёмкостных преобразователях составляет от 10 мкм до 1 мм и его изменение даже на 0,1 мкм может вызвать существенную погрешность. Одной из основных причин изменения зазора является изменение геометрических размеров, вызываемых линейным расширением материалов под воздействием температуры.

Диэлектрическая проницаемость воздуха весьма стабильна и мало меняется под действием внешних условий: при изменении температуры на 10 °С $\delta_\varepsilon = 0,002\%$, при изменении влажности от 30% до 40% $\delta_\varepsilon = 0,01\%$, при изменении давления на 105 Н/м² $\delta_\varepsilon = 0,06\%$.

Опыт 1. Исследование цилиндрического ёмкостного измерительного преобразователя (ЕИП) линейного перемещения

На рисунке 1 изображены, соответственно, схематическая конструкция и электрическая эквивалентная схема данного преобразователя.

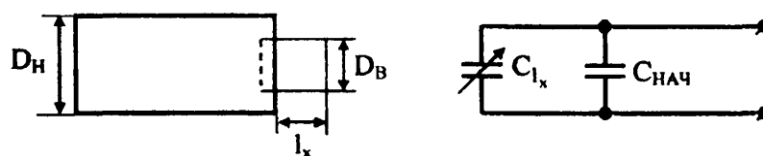


Рисунок 1

Ёмкость цилиндрического преобразователя перемещения:

$$C_{l_x} = 8,85 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{2\pi\varepsilon l_x}{\ln(D_H / D_B)}, \quad (3)$$

где l_x – перемещение электрода [см];

D_H – диаметр внешнего (наружного) электрода ($D_H = 3,39$ см);

D_B – диаметр внутреннего электрода ($D_B = 3,1$ см);

ε – диэлектрическая проницаемость воздуха ($\varepsilon = 1$).

Используя эти данные получим

$$C_{l_x} = 6,22 \cdot l_x \quad (4)$$

Эквивалентная ёмкость данного ЕИП:

$$C = C_{нач} + C_{l_x}, \quad (5)$$

где $C_{нач}$ – начальная ёмкость исследуемого ЕИП ($C_{нач} = 20$ пФ).

Измерения проводятся с помощью цифрового измерителя ёмкости Е 8-4, предназначенного для измерения ёмкости и тангенса угла потерь ёмкостных конденсаторов в лабораторных и цеховых условиях. Пределы измерения ёмкости конденсаторов, в зависимости от соединительных проводов, от 0,03 пФ до 15,999 мкФ.

Измерение ёмкости конденсатора осуществляется с помощью мостовой измерительной цепи переменного тока, выполненной по схеме трансформаторного моста.

Напряжение на измеряемом объекте не превышает 18 В.

Время одного измерения, включая автоматический выбор предела измерения, не превышает 1 с.

Подготовка прибора к работе

Установить тумблер **СЕТЬ**, тумблер **СЛЕЖЕНИЕ** в нижнее положение. Установить переключатель **КАЛИБРОВКА** в положение **ВЫКЛ.** Включить кабель питания в сеть.

Измерения в режиме периодического запуска

Установить переключатель **ЗАПУСК** в положение **ПЕРИОДИЧ.**

Включить тумблер **СЕТЬ**, и дать прогреться прибору 5 мин.

Присоединить исследуемый ИП к зажимам соединительного кабеля.

После запуска прибора с помощью кнопки **ЗАПУСК** прибор будет производить периодические измерения с индикацией результата измерения в течение 2 с.

Порядок выполнения опыта

Измерить ёмкость преобразователя при различных перемещениях внутреннего электрода. Шаг измерений задаёт преподаватель. Данные занести в таблицу 1.

Определить чувствительность измерительного преобразователя.

$$S_{ном} = k_{ном} = (C_{ном} - C_{нач}) / l_{ном}, \quad (6)$$

где $k_{ном}$ – номинальный коэффициент преобразования.

Записать уравнение номинальной характеристики данного ёмкостного ИП. Построить графики $C_{cp} = f(l_x)$, $C = f(l_x)$.

Таблица 1

Экспериментальные данные					Расчётные данные		
l_x , см	C_1 , пФ	C_2 , пФ	C_3 , пФ	$C_{cp} = (C_1 + C_2 + C_3)/3$	$C = C_{нач} + C_{расч}$	$\Delta = C_{cp} - C$	$J = (\Delta / C_{ном}) 100\%$

Опыт 2. Исследование ЕИП углового перемещения (град)

Введённый в кинематическую схему редуктор позволяет с необходимой точностью установить угол поворота (перекрытия) пластин ротора и статора (рисунок 2).

Ёмкость ИП углового (град.) перемещения:

$$C_{\varphi x} = \frac{8,85 \cdot 10^{-2} \cdot \pi (R^2 - r^2)}{d} \cdot (N - 1) \varphi, \quad (7)$$

где $R = 2$ см – внешний радиус кольца;

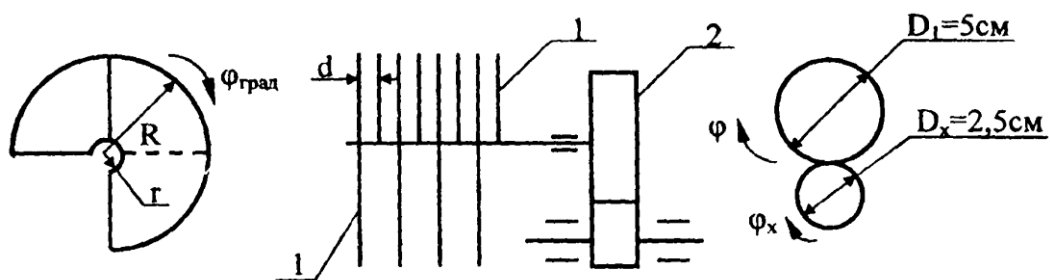
$r = 1,5$ см – внутренний радиус кольца;

$N = 8$ – количество пластин;

$(N - 1)$ – количество промежутков;

φ – угол перемещения в рад.

$d = 0,09$ см – расстояние между пластинами.



1 – пластины конденсатора; 2 – редуктор привода ротора конденсатора

Рисунок 2 – Конструкция и кинематическая схема ЕИП углового перемещения

Порядок выполнения опыта

Измерить ёмкость ИП при различных перемещениях ротора. Шаг измерений задаёт преподаватель. Данные занести в таблицу 2.

Построить графики зависимости $C = f(\varphi_x)$, $C_{cp} = f(\varphi_x)$.

Записать уравнение номинальной характеристики данного ёмкостного ИП.

Таблица 2

Экспериментальные данные							Расчётные данные		
φ_x , град.	$\varphi =$ $= \varphi_x/2$, град.	φ , рад.	C_1 , пФ	C_2 , пФ	C_3 , пФ	$C_{cp} = (C_1 +$ $+ C_2 + C_3)/3$	$C = C_{нач} +$ $+ C_{расч}$	$\Delta = C_{cp} - C$	$j = (\Delta / C_{ном}) \cdot$ $\cdot 100\%$

Опыт 3. Исследование ИЕП углового перемещения (деления)

На рисунке 3 схематично изображена конструкция данного преобразователя. Эквивалентная ёмкость данного ИП:

$$C = C_{нач} + C_{l_x} = C_{нач} + k_{ном} \cdot l_x \quad (8)$$

где $k_{ном}$ – коэффициент преобразования, $k_{ном} = S_{ном}$.

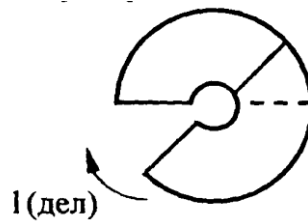


Рисунок 3 – Конструкция емкостного ИП углового (дел) перемещения

Порядок выполнения опыта

Измерить ёмкость ИП при различных перемещениях ротора и заполнить столбцы таблицы 3 экспериментальных данных. По ним определить чувствительность ИП.

$$S_{ном} = \frac{C_{ср. max} - C_{нач}}{l_{max}}, \quad (9)$$

Шаг измерений задаёт преподаватель. Определить точки номинальной характеристики ИП, зная, что $k_{ном} = S_{ном}$, и заполнить в таблице столбцы расчётных данных.

Построить графики зависимости $C = f(l_x)$.

Таблица 3

Экспериментальные данные					Расчётные данные		
l , дел	C_1 , пФ	C_2 , пФ	C_3 , пФ	$C_{ср}$, пФ	$C = C_{нач} + C_{l_x}$	$\Delta_{НЛ} = C_{ср} - C$	$J = (\Delta_{НЛ} / C_{max}) \cdot 100\%$

Контрольные вопросы

1. Объясните принцип действия параметрических емкостных преобразователей. Приведите примеры их использования.
2. Укажите достоинства дифференциальных емкостных преобразователей.
3. Объясните суть краевого эффекта.

Литература

1. Левшин Е.С., Новицкий П.В. Электрические измерения физических величин. Измерительные преобразователи. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – С. 313.
2. В.А. Ацюковский. Ёмкостные преобразователи перемещения, Москва, Энергия, 1966.
3. Храмов А.В. Первичні вимірювальні перетворювачі приладів і автоматичних систем. – Київ: Вища школа, 1998. – С.143 – 148, 195 – 198, 216 – 220.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Способы изменения ёмкости конденсаторов, используемых для построения емкостных преобразователей линейных перемещений

№№ пп.	Вид преобразователя	Конструктивная схема преобразователя	Характер изменения ёмкости преобразователя
1	Преобразователь с переменной площадью перекрытия – S , $d = \text{const}$		
2	Коаксиальный преобразователь с переменной площадью перекрытия обкладок		
3	Дифференциальный преобразователь с переменной площадью перекрытия обкладок и изменяемым зазором		
4	Преобразователь с переменным зазором d		

Лабораторная работа № 6

КОНТАКТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Целью работы является получение навыков контактного измерения температуры, изучение характеристик тепловых преобразователей и снятие их градуировочных кривых.

Температура наряду с давлением и объёмом представляют собой одну из трёх основных величин, характеризующих термодинамическое состояние вещества, и непосредственно связано с его внутренней энергией.

Температура – это статическое понятие, которое применимо к системам, состоящим из большого числа частиц, находящихся в тепловом равновесии. Энергия частиц, усреднённая по их числу, и определяет температуру объекта системы.

Если несколько тел с различными температурами привести в соприкосновение, то происходит теплообмен, который приводит к выравниванию температур.

Теплообмен осуществляется тремя различными способами:

- а) посредством теплопроводности (в твёрдых телах);
- б) посредством конвекции (жидкости и газы);
- в) посредством излучения.

Тепловыми называются преобразователи, принцип действия которых основан на использовании тепловых процессов (нагрева, охлаждения, теплообмена) и входной величиной которых является температура.

Температура как параметр теплового процесса не поддаётся непосредственному измерению.

В то же время она является функцией состояния вещества, непосредственно связана с внутренней энергией тела, а через неё и с другими свойствами. Следовательно, при изменении температуры меняются и многие другие физические свойства тел (объёмное расширение тел при нагревании; зависимость сопротивления вещества от t° , возникновение термо-ЭДС), которые можно измерить.

Средства измерений температуры разнообразны и различаются диапазоном измерений, типом используемого термопреобразователя,

наличием или отсутствием контакта между термопреобразователем и объектом измерений. По последнему признаку все средства измерений температуры делят на контактные и бесконтактные.

Средства для бесконтактных измерений применяют в случаях, когда измеряемая температура превышает 2500°C , когда контакт термопреобразователя с объектом измерения затруднён или невозможен (движущийся или удалённый объект, агрессивная среда и т.п.) или когда недопустимо искажение температурного поля объекта за счёт размещения в нём термопреобразователя.

Для измерения температуры в зависимости от её значения, требуемой точности и условий измерений могут быть использованы различные приборы. В таблице (см. Приложение А) приведены ориентировочные значения диапазонов измеряемых температур и достигнутая точность измерений наиболее распространёнными приборами для измерения температур.

Для измерения температуры контактными средствами в основном используют термометры сопротивления и термоэлектрические термометры.

1. Металлы, предназначенные для изготовления чувствительных элементов, термометров сопротивления, должны обладать высокостабильным ТКС, линейной зависимостью сопротивления от температуры, хорошей воспроизводимостью значений электрического сопротивления в интервале рабочих температур, инертностью к воздействиям окружающей среды. К таким материалам относится платина. Если верхний предел температуры применения термометра невысок, то широко применяются медные терморезисторы, вольфрамовые и никелевые.

В данной работе используется медный термометр сопротивления КТ2 типа ТСМ. Медные термометры сопротивления типа ТСМ могут применяться для длительного измерения температуры от -50 до 200°C (свыше 200°C медь интенсивно окисляется).

Основные технологические данные медных преобразователей даны в Приложении Б.

К достоинствам меди, как материала, применяемого для изготовления чувствительных элементов термометров сопротивления типа ТСМ следует отнести дешевизну, простоту получения такой проволоки в

различной изоляции, возможность получения проводниковой меди высокой чистоты (сплавы обладают меньшим значением ТКС), линейный характер зависимости сопротивления меди от температуры. К числу недостатков меди следует отнести малое удельное сопротивление ($\rho = 1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м) и интенсивную окисляемость при невысоких температурах.

Зависимость электрического сопротивления меди от температуры в диапазоне от -50 до -200 °С подчиняется уравнению:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t),$$

где R_t и R_0 – сопротивления терморезистора, соответственно при температуре t и 0 °С;

α – ТКС меди ($\alpha = 4,26 \cdot 10^{-3}$ C $^{-1}$, K $^{-1}$).

Если для медного терморезистора требуется определить R_2 (при температуре t_2) по известному сопротивлению R_1 (при температуре t_1), то следует пользоваться формулой:

$$R_2 = R_1(1 + \alpha t_2)/(1 + \alpha t_1) \quad (1)$$

Рассмотрим графическую зависимость $R_t = f(t)$ (см. рисунок 1).

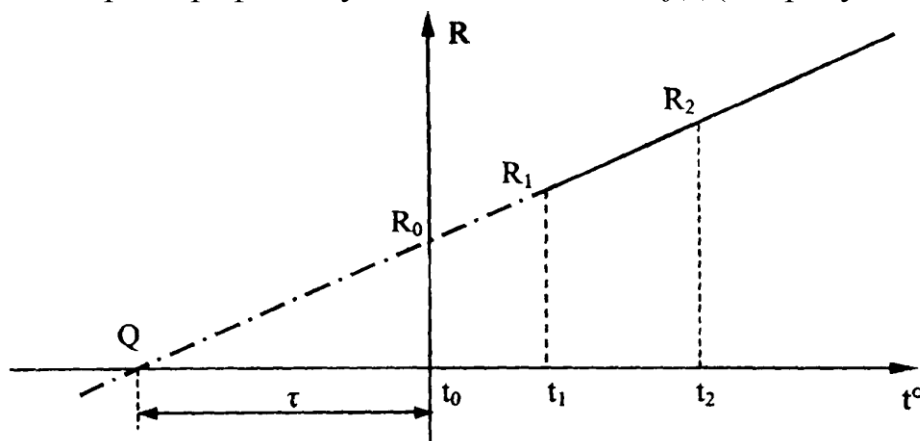


Рисунок 1

Если продлить прямую R_1R_2 до пересечения с осью температур в точке Q , то получим ряд подобных треугольников. Отсюда следует соотношение:

$$\frac{R_1}{t_1 + \tau} = \frac{R_2}{t_2 + \tau} = \frac{R_0}{\tau} \quad (2)$$

Физический смысл параметра τ состоит в том, что он выражает собой ту температуру, которая соответствует нулевому сопротивлению терморезистора при условии сохранения линейной зависимости до низких температур.

Из графика рисунка 1 можно определить R_0 , соответствующую $t = 0^\circ\text{C}$.

Погрешности, возникающие при измерении температуры термометрами сопротивления, вызывается нестабильностью во времени начального сопротивления термометра и его ТКС, изменением сопротивления линии, соединяющей термометр с измерительным прибором, перегревом термометра измерительным током (обычно ток значительно меньше 10 мА).

2. Полупроводниковые терморезисторы имеют нелинейную функцию преобразования:

$$R_t = R_{t_{20}} e^{\alpha(t-t_{20})}, \quad (3)$$

где $\alpha = -(0,025 - 0,04) \frac{1}{^\circ\text{C}}$;

$t = 20^\circ\text{C}$.

Они отличаются от металлических терморезисторов большими значениями ТКС, а, следовательно, меньшими габаритами, меньшей инерционностью, большей чувствительностью. ТКС полупроводниковых терморезисторов отрицателен и уменьшается обратно пропорционально квадрату абсолютной температуры.

К числу недостатков полупроводниковых терморезисторов можно отнести следующие:

- а) нелинейность зависимости от температуры;
- б) малая допускаемая мощность рассеяния при прохождении измерительного тока;
- в) значительный разброс от образца к образцу как номинального сопротивления, так и ТКС, (т.е. отсутствие взаимозаменяемости, необходимость индивидуальной градуировки).

Погрешность измерения температуры полупроводниковыми терморезисторами зависит в основном от нестабильности его сопротивления, погрешности градуировки, погрешности перегрева.

В данной работе использованы полупроводниковые терморезисторы типа КМТ-17А, СТЗ-1, ММТ-1.

3. При плотном соединении (контакте) двух металлических поверхностей электроны из металла с меньшей работой выхода будут переходить в металл с большей работой выхода. При этом возникает контактная разность потенциалов, величины которой зависит от температуры.

Термоэлемент состоит из двух таких соединений (сваренных или спаянных), если их температуры одинаковы, то контактные напряжения компенсируются. Если контактные соединения имеют различную температуру, то возникает термо-ЭДС, вызывающая термоток. Его величина зависит от сопротивления цепи, материалов и разности температур.

Термоэлектрический метод измерения температур основан на строгой зависимости термо-ЭДС от температуры.

К термоэлектродным материалам, предназначенным для изготовления термопар, предъявляют ряд требований. Однозначная, желательно близкая к линейной, зависимость термо-ЭДС от температуры, стабильность и воспроизводимость термоэлектрической характеристики, высокая чувствительность, жаростойкость и механическая прочность, химическая инертность, термоэлектрическая однородность.

Функция преобразования термопары:

$$E(t, t_0) = f(t) - f(t_0), \quad (4)$$

где $E(t, t_0)$ – термо-ЭДС преобразователя;

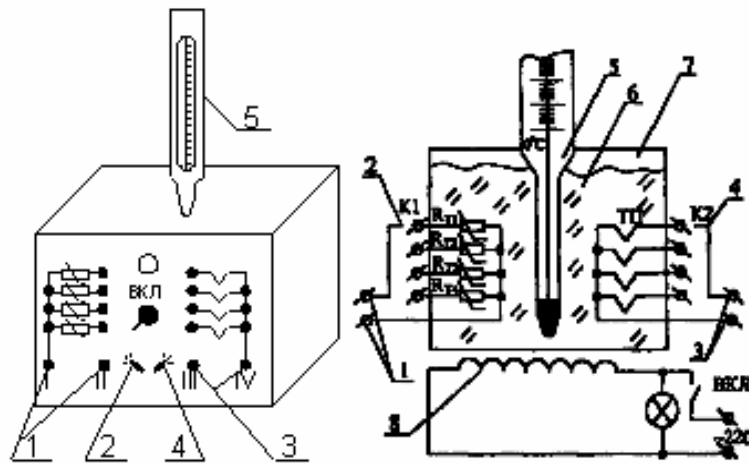
$f(t), f(t_0)$ – функции температур рабочего спая и свободных (холодных) концов термопары.

Опыт 1. Измерение температуры медным терморезистором

На рисунке 2 изображен макет для контроля основных характеристик тепловых преобразователей в диапазоне от 0 – 110 °С.

Термопары и терморезисторы могут быть подключены к внешнему прибору непосредственно, либо с помощью переключателей K_1 и K_2 , соответственно.

В данном опыте температуру масла измеряют с помощью медного терморезистора R_{T_2} .



1 – клеммы подключения терморезисторов; 2 – переключатель подключения терморезисторов K_1 ; 3 – клеммы подключения термопар; 4 – переключатель подключения термопар K_2 ; 5 – термометр; 6 – масло; 7 – колба; 8 – нагреватель.

Рисунок 2 – Внешний вид и электрическая схема макета для контроля характеристик тепловых преобразователей

Порядок выполнения опыта

Внимание! Опыт 1, опыт 2, опыт 3 выполняются одновременно.

1. К клеммам лабораторного макета (рисунок 2) подключить прибор для измерения сопротивления (предел измерения кОм).

2. Переключатель K_1 перевести в положение 2.

3. После проверки схемы преподавателем, подключить прибор к сети.

4. Включить тумблер ВКЛ на панели макета, при этом должна загореться лампочка сигнализации.

5. Измерить сопротивление медного терморезистора при различной температуре масла.

6. Диапазон и шаг измерений задает преподаватель.

7. Результаты измерений занести в таблицу 1.

8. Построить график $R_2 = f(t^\circ)$, по нему, используя графические построения, определить значения R_0 , τ для выбранного линейного участка графика. Определить класс точности медного терморезистора.

Градуировочные значения медного терморезистора и допустимые отклонения от номинальных значений сопротивления ТСМ, даны в приложении Б.

Таблица 1

Ртутный термометр t°, C	Сопротивление медного терморезистора $R_2, \text{Ом}$	Градуировочные значения $R_{2Г}, \text{Ом}$	$\delta = \frac{R_2 - R_{2Г}}{R_{2Г}} \cdot 100\%$

Опыт 2. Измерение температуры полупроводниковым терморезистором

В данном опыте температуру масла измеряют полупроводниковыми резисторами R_{T_1} , R_{T_3} , R_{T_4} .

Порядок выполнения опыта

1. Проведение опыта 2 аналогично поведению опыта 1. Переключатель K_1 ставим в положения 1, 3, 4 и проводим измерения.

2. Результаты измерений занести в таблицу 2.

3. Построить графики $R = f(t^\circ)$, $R_p = f(t^\circ)$.

Таблица 2

Ртутный термометр t°, C	Сопротивление п/п терморезистора R , кОм R_1, R_3, R_4	Сопротивление п/п терморезистора R_p , кОм (расчётное)	$\delta = \frac{R - R_p}{R_p} \cdot 100\%$

Опыт 3. Измерение температуры термоэлектрическим преобразователем

В данном опыте температуру масла измеряют различными видами термопар.

Порядок выполнения опыта

1. К клеммам III и IV лабораторного макета подключить прибор для измерения ЭДС.
2. Переключатель K_2 установить в положение 1, 2, 3 или 4 (по заданию преподавателя).
3. Подключить прибор к сети.
4. Измерить ЭДС термопар при различной температуре масла.
5. Диапазон и шаг измерений задает преподаватель.
6. Результаты измерений занести в таблицу 3. Градуировочные значения стандартных термопар даны в Приложении В.
7. Построить графики $E = f(t^\circ)$, $E_T = f(t^\circ)$.

Таблица 3

Ртутный термометр t°, C	Измеряемая термо-ЭДС, E , мВ	Градуйровочные значения стандартной термопары, E_{Γ}	$\delta = \frac{E - E_{\Gamma}}{E_{\Gamma}} \cdot 100\%$

Содержание отчёта

В отчёте должны быть приведены таблицы экспериментальных данных, по данным измерений и вычислений построить графики, указанные в описании опытов.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют методы измерения температуры?
2. Почему чувствительный элемент первичного измерительного преобразователя в значительной мере определяет главные его возможности?
3. Назовите тепловые чувствительные элементы, обоснуйте возможные границы их использования.
4. Перечислите достоинства и недостатки металлических термометров.
5. Перечислите достоинства и недостатки полупроводниковых терморезисторов.
6. Объясните суть термоэлектрического метода измерения.

Литература

1. Храмов А.В. Первичні вимірювальні перетворювачі приладів і автоматичних систем. – Київ: Вища школа, 1998. – С.150 – 153, 216 – 220.
2. Головки Д.Б., Скрыпник Ю.О., Химичова Г.И. Структурно-алгоритмические методы повышения точности измерения температуры. – Киев: <<ФАДА, ЛТД>>, 1999.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Приборы для измерения температуры	Диапазон измерения, °С	Достигнутая погрешность, %
<u>Контактные</u>		
Термометры сопротивления с терморезисторами:		
из благородных металлов;	- 260÷ +1300	±0,002
из неблагородных металлов;	- 200÷ +200	±0,5
из полупроводниковых материалов.	- 270÷ +300	±1,0
Термометры сопротивления с термотранзисторами.	- 60÷ +100	±1,0
Кварцевые термометры.	- 50÷ +100	±0,05
Термоэлектрические термометры с термопарами:		
из благородных металлов;	20÷ 1800	±0,1
из неблагородных металлов;	- 200÷ +1300	±1,0
из полупроводниковых материалов.	- 0÷ 2500	±1,0
<u>Бесконтактные</u>		
Пирометры излучения:		
радиационные;	20÷ 4000	±1,0
оптические (яркостные);	700÷ +10000	±0,5
цветовые.	900÷ 300	±1,0

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Основные данные металлических термопреобразователей
сопротивления типа ТСМ по ГОСТ 6651 – 78.

R при 0°С, Ом	Условные обозначения статической характеристики	Диапазон измеряемых T, °С
10	10M	- 50...200
50	50M	- 50...200
/53/	/2p23/	- 50...180
100	100M	- 200...200

Примечание. Преобразователи, характеристики которых указаны в скобках, рекомендуется в новых разработках не использовать.

Градуировочная таблица для медных
термометров сопротивления

Температура, °C	Сопротивление, Ом
-50	41,71
-40	43,97
-30	46,23
-20	48,48
-10	50,74
0	53,00
10	55,26
20	57,52
30	59,77
40	62,03
50	64,29
60	66,55
70	68,81
80	71,06
90	73,32
100	75,58
110	77,84
120	80,09
130	82,35

Допустимые отклонения, % от номинальных значений сопротивления,
металлических термопреобразователей сопротивления (при 0°C)

Тип	Класс точности				
	I	II	III	IV	V
ТСП	±0,05	±0,1	±0,4	±0,2	±0,8
ТСМ		±0,1	±0,5	±0,2	±1,0

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Температура рабочего конца спая, °C	Термо-ЭДС, мВ			
	ТП медь- константан	ТП железо- константан	ТП хромель- копель	ТП хромель- алюмель
30	1,196	1,536	1,801	1,203
40	1,611	2,058	2,419	1,611
50	2,035	2,585	3,047	2,022
60	2,467	3,115	3,683	2,430
70	2,908	3,649	4,329	2,850
80	3,357	4,186	4,983	3,266
90	3,813	4,725	5,646	3,681
100	4,277	5,268	6,317	4,095
110	4,749	5,812	6,996	4,508
120	5,227	6,359	7,683	4,919
130	5,712	6,907	8,377	5,327

Лабораторная работа № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЬЕЗОРЕЗОНАНСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ “ТЕМПЕРАТУРА-ЧАСТОТА”

Целью работы является ознакомление с принципом работы, устройством пьезорезонансного преобразователя “температура-частота” и определение основных характеристик данного преобразователя.

Пьезоэлектрическими называются кристаллы и текстуры, электризующихся под действием механических напряжений (прямой пьезоэффект) и деформирующиеся в электрическом поле (обратный пьезоэффект). Пьезоэффект обладает знакочувствительностью, т.е. происходит изменение знака деформации при изменении направления поля.

Пьезоэлектрическими свойствами обладают многие кристаллические вещества: кварц, турмалин, ниобат лития, сегнетова соль и др., а также искусственно создаваемые и специально поляризуемые в электрическом поле пьезокерамики: титанит бария, титанит свинца и др.

Обратимость пьезоэлектрического эффекта позволяет выполнять пьезорезонатор в виде двухполюсника, объединяющего системы электрического возбуждения механических колебаний и съёма электрического сигнала. Резонансные колебания в пьезоэлементе возникают в результате установления в нём стоячих ультразвуковых волн.
Длина волны

$$\lambda = v / f ,$$

где v - скорость распространения ультразвука,
 f - частота излучения.

Если длина волны λ - такова, что на отрезке h между гранями, от которых отражаются волны, укладывается целое число полуволен, то в пьезоэлементе устанавливаются стоячие волны. Стоячим волнам соответствует частота возбуждающего напряжения

$$f_{np} = \frac{n}{2h} \sqrt{\frac{E_{ij}}{\rho}},$$

где n - число уложившихся полуволен,

E_{ij} - константа упругости материала,

ρ - плотность материала.

Частота колебаний, при которых на длине h укладывается одна полуволна, является резонансной (основной) частотой и равна

$$f_{np} = \frac{1}{2h} \sqrt{\frac{E_{ij}}{\rho}}.$$

Основой исследуемого пьезорезонансного частотного преобразователя является пьезорезонатор, частота которого изменяется под воздействием температуры, которая влияет на геометрические размеры, плотность, и, главным образом, на упругие свойства кварца. Современные кварцевые резонаторы рассчитаны на применение в диапазоне частот 1кГц – 200мГц. Перекрытие такого широкого диапазона частот возможно лишь при использовании сильно отличающихся друг от друга пьезоэлементов. Так минимальная толщина пьезоэлемента составляет примерно 0,05 мм (элементы меньшей толщины непрочны и нетехнологичны), а максимальный размер достигает 50мм. В зависимости от выбора частотоопределяющих размеров пьезоэлемента удаётся изменять частотный диапазон в 1000 раз.

По конструктивному исполнению (виду герметизации) кварцевые резонаторы делятся на две группы: вакуумные (остаточное давление меньше 10^{-3} мм рт ст) и герметизированные, а по функциональному назначению – генераторные (для применения в схемах генераторов), а также фильтровые.

Генераторные резонаторы в зависимости от уровня точности настройки и стабильности частоты подразделяются на резонаторы общего типа и прецизионные, термостатируемые (для использования совместно с термостатом) и термокомпенсируемые (для схем генераторов с термокомпенсацией)

К прецизионным относятся резонаторы с допустимым отклонением рабочей частоты от номинальной $3 \cdot 10^{-6}$ и менее, и изменением частоты во времени, не превышающем 10^{-8} за неделю (или 10^{-9} в сутках).

В исследуемом преобразователе используется герметизированный ТКР LC-среза с колебаниями сдвига по толщине.

Основные характеристики преобразователя “температура-частота”

К основным характеристикам преобразователя относятся:

1. Термочувствительность – зависимость резонансной частоты пьезоэлектрического резонатора от температуры.

$$S = C_{\theta} = \left. \frac{\partial f}{\partial \theta} \right|_{\theta=\theta_0} \left[\frac{\Gamma\text{ц}}{^{\circ}\text{C}} \right].$$

Количественно термочувствительность принято оценивать через коэффициент термочувствительности C_{θ} , определённый при фиксированной температуре θ_0 и численно равный производной от частоты f по температуре.

2. Для сравнения по термочувствительности резонаторов с различными рабочими частотами удобно пользоваться понятием температурного коэффициента частоты (ТКЧ)

$$TKЧ = T_f = \frac{\partial f}{f \partial \theta} \left[^{\circ}\text{C}^{-1} \right].$$

Коэффициенты C_{θ} и ТКЧ однозначно связаны между собой соотношением

$$C_{\theta} = T_f * f.$$

Зависимость $f(\theta)$ частоты резонатора от температуры называется температурно-частотной характеристикой (ТЧХ). Экспериментально установлено [1], что ТЧХ любого кварцевого резонатора имеет форму квадратичной или кубической параболы либо прямой линии и с достаточной

для практики точною может быть представлена в диапазоне температур - 200 ÷ +200 °С в виде полинома третьей степени:

$$f(\theta) = f_0 \left[1 + \sum_{n=1}^3 T_f^{(n)} (\theta - \theta_0)^n \right] = \\ = f_0 \left[1 + T_f^{(1)} (\theta - \theta_0) + T_f^{(2)} (\theta - \theta_0)^2 + T_f^{(3)} (\theta - \theta_0)^3 \right], \quad (1)$$

где $T_f^{(1)} = \frac{\partial f}{\partial \theta} \bigg|_{\theta=\theta_0}$; $T_f^{(2)} = \frac{\partial^2 f}{2\partial \theta^2} \bigg|_{\theta=\theta_0}$; $T_f^{(3)} = \frac{\partial^3 f}{6\partial \theta^3} \bigg|_{\theta=\theta_0}$ -

- ТКЧ первого, второго и третьего порядков

Для реализации преобразователей, обладающих линейной ТЧХ, необходимо, как это следует из (1), выполнение одновременно двух условий:

$$T_f^{(2)} = 0; \quad T_f^{(3)} = 0.$$

Этими свойствами обладает ТКР LC – среза (от англ. Linear coefficient – линейный коэффициент) Для LC – среза ТКИ близок к $36 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$

3. Градуировочная характеристика преобразователя

$$f_{\Gamma}(\theta) = f_1(\theta) - f_2 = f_1(\theta_0) - f_2 + \Delta f = \\ = f_1(\theta_0) - f_2 + T_f * f_1(\theta_0) * \theta = f_{\Gamma}(\theta) + C_{\theta} * \theta,$$

где $f_1(\theta)$, f_2 - выходные частоты измерительного Г1 и опорного Г2 генераторов, Гц

$f_1(\theta_0)$ - частота измерительного генератора при температуре калибровки термочувствительного кварцевого резонатора ($\theta_0 = 0^\circ\text{C}$), Гц;

θ - текущее значение температуры, °С

4. Погрешность преобразователя

$$\gamma = \frac{f_{\text{д}}(\theta) - f_{\Gamma}(\theta)}{f_{\Gamma}(\theta_{\text{к}}) - f_{\Gamma}(\theta_{\text{н}})} * 100\% , \quad (2)$$

где $f_{\Gamma}(\theta)$ - значение выходной частоты преобразователя, полученное по уравнению (2);

$f_{\text{д}}(\theta)$ - действительное значение выходной частоты преобразователя, полученное из опытных данных;

$f_{\Gamma}(\theta_{\text{к}}), f_{\Gamma}(\theta_{\text{н}})$ - выходные частоты преобразователя соответствующие начальному и $\theta_{\text{н}}$ конечному $\theta_{\text{к}}$ значениям измеряемых температур.

Принцип действия и устройство пьезокварцевого преобразователя «температура-частота»

Структурная схема исследуемого преобразователя приведена на рисунке 1.

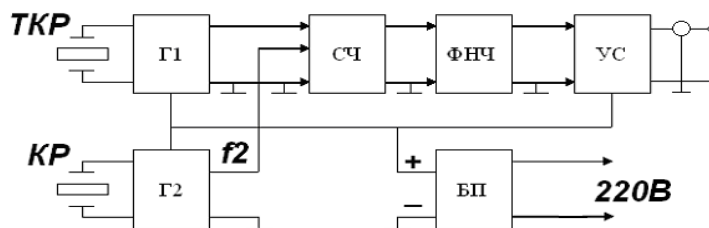


Рисунок 1-Структурная схема пьезокварцевого преобразователя

Он состоит из измерительного Г1 и опорного Г2 генераторов электрических колебаний, смесителя частот СЧ, фильтра низких частот ФНЧ, усилителя УС и блока питания БП.

Измеряемая температура воспринимается термочувствительным кварцевым резонатором ТКР, который является частото задающим элементом измерительного генератора. Таким образом, изменение

температуры θ на величину $\Delta\theta$ вызывает изменение частоты $f_1(\theta)$ измерительного генератора на величину Δf . Опорный генератор вырабатывает электрические колебания стабильной частоты f_2 , близкой к частоте $f_1(\theta)$ измерительного генератора при температуре калибровки ТКР, равной $\theta=0^\circ\text{C}$. Частоты $f_1(\theta)$ и f_2 подаются на смеситель СЧ, в котором формируется выходной сигнал преобразователя:

$$f(\theta) = f_1(\theta) - f_2.$$

После подавления высших гармоник и усиления этот сигнал может быть измерен стандартным электронносчетным частотомером или передан для регистрации и управления.

Измерительный генератор преобразователя (рисунок.2) собран по емкостной трехточечной схеме на транзисторе VT1. На транзисторе VT2 построен истоковый повторитель.

Опорный генератор выполнен по аналогичной схеме (рисунок 2) с термостабильным кварцевым резонатором.

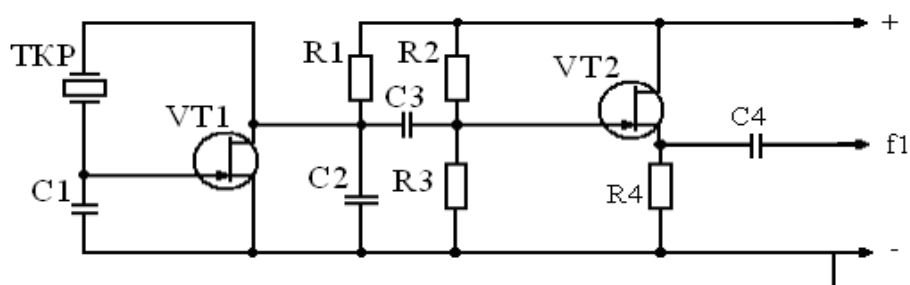


Рисунок 2-Измерительный генератор преобразователя

Смеситель частот (рисунок 3) собран на транзисторах VT3, VT4 в сочетании с эмиттерным повторителем на транзисторе VT5.

Фильтр низкой частоты (рисунок 3) построен по Г – образной схеме на элементах L1, L2, C8, C9.

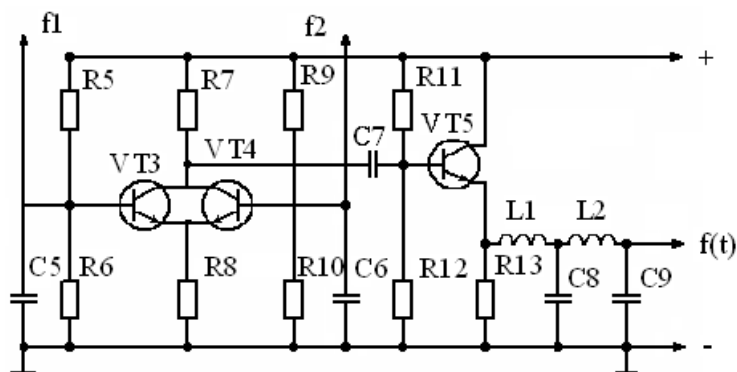


Рисунок 3-Смеситель частот и ФНЧ

Усилитель (рисунок 4) выполнен на двух транзисторах VT6, включенном по схеме с общим эмиттером, и VT7, включенном по схеме с общим коллектором.

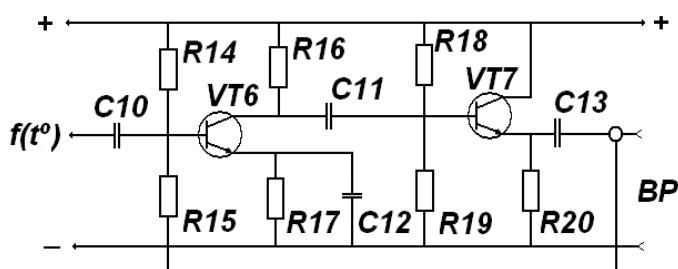


Рисунок 4- Усилитель

Описание установки для исследования преобразователей «температура-частота»

Установка (рисунок 5) состоит из устройства пьезокварцевого преобразователя «температура-частота» и стандартного электронно-счетного частотомера ЧМ с рабочим диапазоном $10-10^6$ Гц (например, ЧЗ-33, ЧЗ-34). Устройство содержит преобразователь «температура-частота» и термостат Т, в котором находятся термочувствительные кварцевые резонаторы ТКР. Подогрев и поддержание температуры в термостате осуществляются соответственно термоэлектрическим нагревателем ТЭН и контактным термометром КТ с управляющим

блоком УБ. Установка необходимых значений температуры производится регулятором Р по верхней шкале контактного термометра.

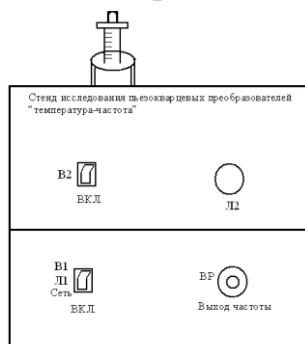


Рисунок 5 - Установка

На передней панели испытательного стенда расположены следующие элементы: В1 – сетевой выключатель; ПР – сетевой предохранитель; Л1 – лампа, сигнализирующая о включении устройства; В2 – выключатель термостата; Л2 – лампа, сигнализирующая о включении термостата Т; КТ – контактный термометр с регулятором Р; ВР– выходной разъем преобразователей (рисунок 6).

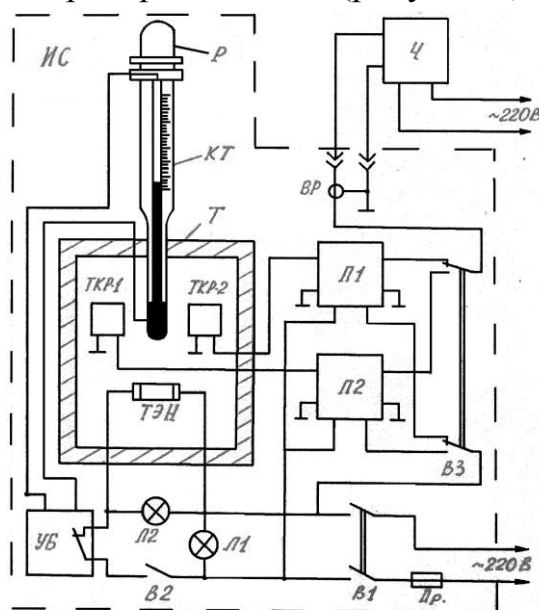


Рисунок 6 - Передняя панель испытательного стенда

Порядок выполнения работы

1. Установить выключатели В1, В2 и сетевой выключатель частотомера в положение ОТКЛ.

2. Подключить испытательный стенд и частотомер к сети.
3. Соединить кабелем гнездо ВХОД частотомера с выходным разъемом ВР.
4. Выключатель В1 и сетевой выключатель частотомера перевести в положение ВКЛ. При этом должны загореться лампа Л1 и индикаторная лампа частотомера.
5. Регулятором Р установить задатчик контактного термометра на отметку 30°C верхней шкалы.
6. Включить термостат, установив выключатель В2 в положение ВКЛ.

При этом должна загореться сигнальная лампа Л2 и включится лампа подсветки шкалы контактного термометра. Когда температура в термостате достигает значения, установленного на шкале КТ происходит отключение термоэлектрического нагревателя термостата и отключение лампы подсветки шкалы КТ. В течение 10-15мин после этого в термостате происходит стабилизация температуры в пределах $(30 \pm 0,5)^{\circ}\text{C}$, о чем свидетельствует периодическое мигание подсветки КТ примерно один раз в секунду.

7. После установки в термостате температуры $(30 \pm 0,5)^{\circ}\text{C}$ прогреть ТКР до получения стабильной частоты преобразователя (изменение частоты не должно превышать ± 5 Гц) и занести три произвольно взятых показания частотомера (действительные значения частот преобразователя $f'_{\phi}(\theta)$, $f''_{\phi}(\theta)$, $f'''_{\phi}(\theta)$) в табл.1

Таблица 1

$\theta, ^{\circ}\text{C}$	30	40	50	60	70	80	90	100
$f'_{\phi}(\theta), \text{Гц}$								
$f''_{\phi}(\theta), \text{Гц}$								
$f'''_{\phi}(\theta), \text{Гц}$								
$\bar{f}_{\phi}(\theta), \text{Гц}$								

8. Определить и занести в табл.1 среднее значение частоты преобразователя при температуре 30°C

$$\bar{f}_\delta(30) = \frac{1}{3} [f'_\delta(30) + f''_\delta(30) + f'''_\delta(30)].$$

9. Регулятором Р последовательно установить на шкале контактного термометра остальные значения температур, указанные в табл.1. Для каждой из этих температур по методике, приведенной в пунктах 6,7,8 определить и занести в табл.1 значения частот $f'_\delta(\theta)$, $f''_\delta(\theta)$, $f'''_\delta(\theta)$ и $\bar{f}_\delta(\theta)$. Значения $\bar{f}_\delta(\theta)$ занести также в табл.2.

10. Определить уравнение градуировочной характеристики преобразователя по полученным значениям $f_\delta(\theta)$. Это уравнение представляет собой линейную функцию, определенную по восьми ($n = 8$) значениям $\bar{f}_\delta(\theta)$ и согласно методу наименьших квадратов имеет следующий вид:

$$f_r(\theta) = f_r(\theta_0) + S \cdot \theta = \bar{f}_\delta - S(\bar{\theta} - \theta),$$

где $\bar{f}_\delta = \frac{1}{8} [\bar{f}_\delta(30) + \bar{f}_\delta(40) + \dots + \bar{f}_\delta(100)]$ – среднее значение частоты, Гц;

$\bar{\theta} = \frac{1}{2} [100 + 30] = 65^\circ\text{C}$ – среднее значение температуры;

$S = \frac{1}{6} \{ \bar{f}_\delta(70) - \bar{f}_\delta(60) + 3[\bar{f}_\delta(80) - \bar{f}_\delta(50)] + 5[\bar{f}_\delta(90) - \bar{f}_\delta(40)] + 7[\bar{f}_\delta(100) - \bar{f}_\delta(30)] \}$
 $\cdot \left[n(n^2 + 1) \Delta\theta \right]^{-1}$ – чувствительность преобразователя, Гц/°C;

$\Delta\theta = 10^\circ\text{C}$ – шаг по шкале температур;

$f_r(\theta) = \bar{f}_\delta - S \cdot \bar{\theta}$ – значение выходной частоты преобразователя при температуре 0°C

Таблица 2

$\theta, ^\circ\text{C}$	0	30	40	50	60	70	80	90	100
$\bar{f}_o(\theta), \text{Гц}$									
$f_r(\theta), \text{Гц}$									
$\gamma, \%$									
$\sigma, ^\circ\text{C}^{-1}$									

11. Подставляя в уравнение градуировочной характеристики значения температур, приведенные в табл. 2, определить и занести в эту таблицу градуировочные значения частот $f_r(\theta)$, соответствующие этим температурам. По полученным значениям $f_r(\theta)$ и $\bar{f}_o(\theta)$ определить и занести в табл.2 значения относительных погрешностей преобразования для каждой точки температур

$$\gamma_r = \frac{f_o(\theta) - f_r(\theta)}{f_r(100) - f_r(30)} \cdot 100\%.$$

12. По уравнению (1) определить и занести в табл.2 значение температурного коэффициента частоты σ для ТК исследуемого преобразователя, зная, что частота опорного генератора $f_2 = 14 \cdot 10^6 \text{ Гц}$.

13. По данным табл.2 построить градуировочную $f_r(\theta)$ и действительную $f_o(\theta)$ характеристики исследуемого преобразователя (рисунок 7).

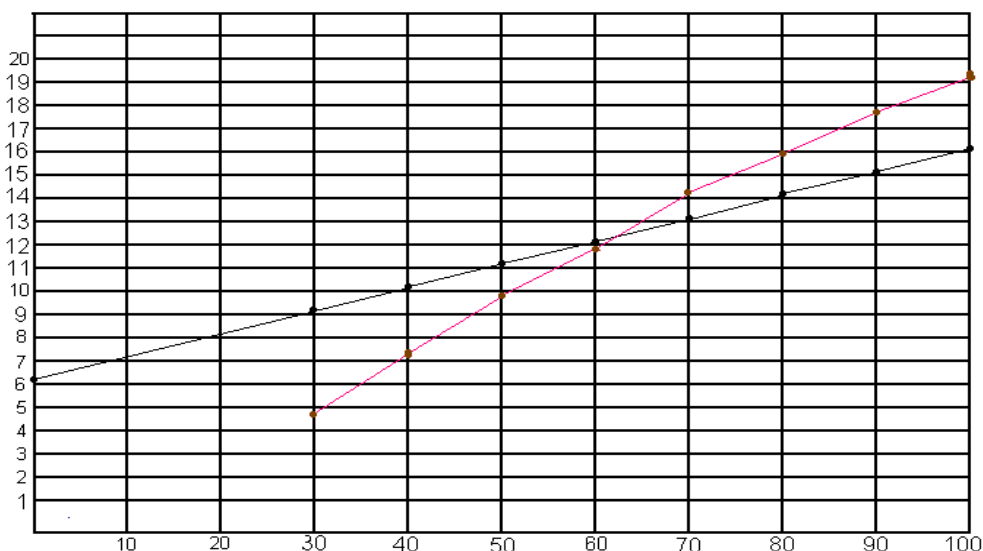


Рисунок 7 - Характеристика исследуемого преобразователя

Оформление отчета

В отчете привести схему исследуемого преобразователя (рис.1), табл.1 и табл.2, уравнение градуировочной характеристики, значения чувствительности S и наибольшей погрешности $\gamma_{\text{пм}}$ преобразователя.

Контрольные вопросы

1. Принцип действия, устройство и основные характеристики пьезокварцевых преобразователей “температура-частота”.
2. Основные типы термочувствительных кварцевых резонаторов, их характеристик и устройство.
3. Основные требования к измерительному и опорному генераторам, их схемы.
4. Назначения и устройство смесителя частот, фильтра низких частот и усилителя.
5. Устройство установки для исследования преобразователей “температура-частота”. Уравнение градуировочной характеристики исследуемого преобразователя. Последовательность определения этой характеристики на испытательной установке.
6. Определение чувствительности исследуемого преобразователя. Причины отклонения действительной характеристики от градуировочной.

Определение погрешности преобразователя и температурного коэффициента частоты ТКР.

Литература

1. Малов В.В. Пьезорезонансные датчики. – М.: Энергоатомиздат, 1989, с.49-52, 58-62, 126-136.
2. Новицкий П.В. Электрические измерения неэлектрических величин. -М.: Энергия, 1975, с.515-522.
3. Голембо В.А., Котляров В.А., Швецкий Б.И. Пьезокварцевые аналого-цифровые преобразователи температуры. – Львов: Высшая школа, 1977, с.5-29, 55-90.
4. Румшиский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. – М.: Наука, 1971, с.56-62.